PHILIPS

CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Analoge schakelingen

Leerlingboek CS 3

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

Tweede druk 1977

PHILIPS

CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Analoge schakelingen

Leerlingboek CS 3

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

OVER DEZE SCANS
Als basis voor deze scans hebben wij gebruik gemaakt van de door 'Freeservicemanuals' in 2018 gemaakte scans. Wij hebben de pagina's van deze scans echter zorgvuldig naar de originele staat gerestaureerd, onder andere door alle persoonlijke notities en de antwoorden op alle oefeningen en vragen te verwijderen.

Tweede druk 1977

INHOUDSOPGAVE

b

C 27

O P N E E M S C H A K E L I N G E N

INLEIDING

In ons hele leven hebben we behoefte aan het verwerken (waarnemen, meten) van natuurkundige informatie, zoals: temperatuur, tijd, snelheid, kracht, druk, hardheid, elasticiteit, enz. Hulpinstrumenten in tal van variaties zijn de mens daarbij van dienst: thermometers, uurwerken, snelheidsmeters, drukmeters, enz.

Vaak gebruikt men voor informatie-verwerking *elektronische* middelen. Deze zijn meestal nauwkeuriger en werken sneller dan mechanische hulpinstrumenten.
In een aantal gevallen is elektronische informatie-verwerking zelfs de enige mogelijke manier. Denk bijv. aan waarnemingen op afstand (radio, televisie) of aan metingen op moeilijk toegangkelijke plaatsen (bijv. de temperatuur in een oven of de straling van een kernreactor).

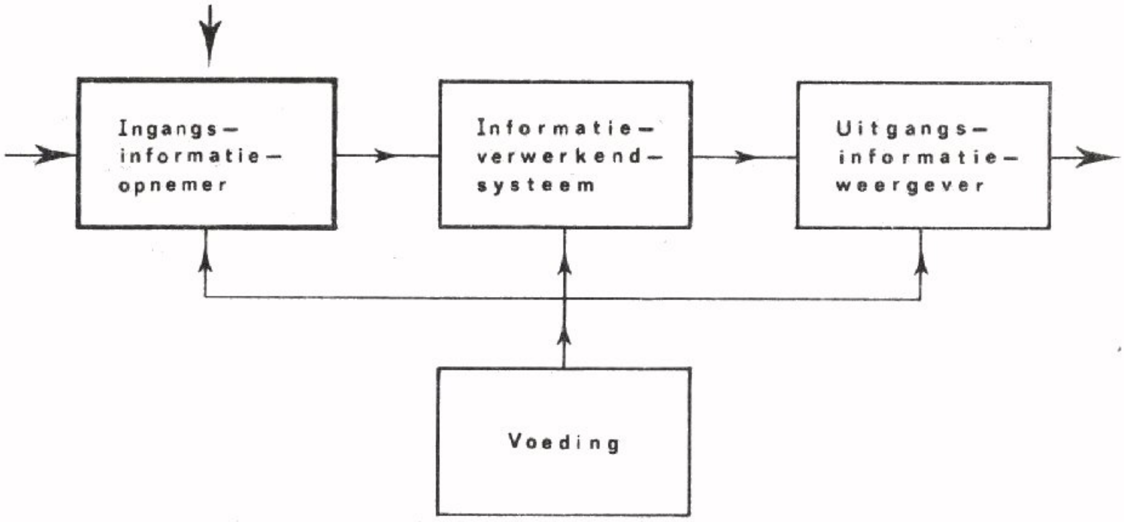
Het nadeel van elektronische verwerking is, dat een aantal *omzettingen* van informatie moet plaats vinden.
Aan het begin van een informatie-verwerkend systeem moeten de niet-elektrische verschijnselen zoals licht, geluid en temperatuur, worden omgezet in evenredige elektrische grootheden (spanning of stroom).
Deze elektrische informatie kan dan elektronisch worden verwerkt tot een geschikt uitgangssignaal.
Om uiteindelijk het verschijnsel weer waarneembaar te maken voor onze zintuigen moet de elektrische informatie daarna weer worden omgezet in een niet-elektrisch verschijnsel. Dit kan bijv. zijn: het oplichten van een lamp, het uitslaan van een meter of het geluid van een luidspreker.

Zie onderstaand blokschema.

De functie omzetten kan men dus in twee groepen verdelen:

1. Het omzetten van niet-elektrische verschijnsel in evenredige elektrische informatie. Dit noemen we *opnemen*.
2. Het omzetten van elektrische informatie in evenredige niet-elektrische verschijnselen. Dit noemen we *weergeven*.

In deze les houden we ons bezig met opneemschakelingen. De volgende les handelt over weergeefschakelingen.



DE FUNCTIE OPNEMEN

Een opneemschakeling stellen we voor door een blok met een (niet-elektrische) ingang en een elektrische uitgang.



Aan de ingang wordt niet-elektrische informatie toegevoerd. Aan de uitgang komt een evenredige elektrische spanning beschikbaar.

Onder "opnemen" verstaan we, het omzetten van niet-elektrische informatie in een evenredige elektrische spanning.

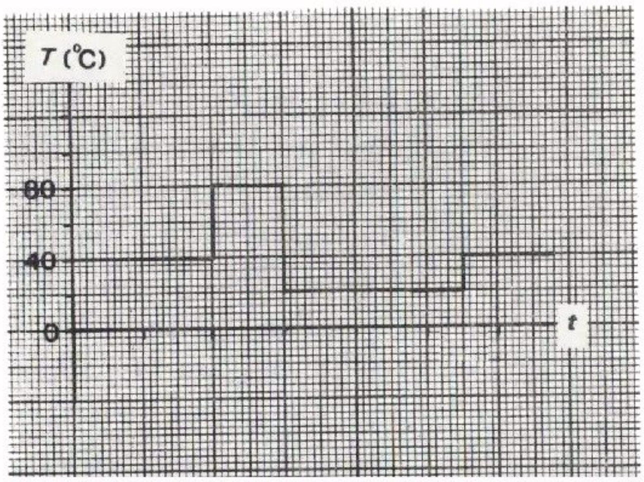
Het onderdeel van een opneemschakeling dat reageert op de toegevoerde niet-elektrische verschijnselen noemen we een *opnemer*.
We kennen al een aantal opnemers:

- Een L.D.R. is een lichtopnemer.
- Een N.T.C.- en een P.T.C.-weerstand zijn temperatuuropnemers.
- Een microfoon is een geluidopnemer.

Wij zullen in deze les zeker niet alle opnemers behandelen.
Een dergelijke samenvatting is niet zinvol omdat bijna dagelijks nieuwe en/of verbeterde uitvoeringen beschikbaar komen. Daarentegen zijn vele opnemers varianten op eenzelfde *principe*. We zullen daarom vooral aandacht schenken aan die principes.

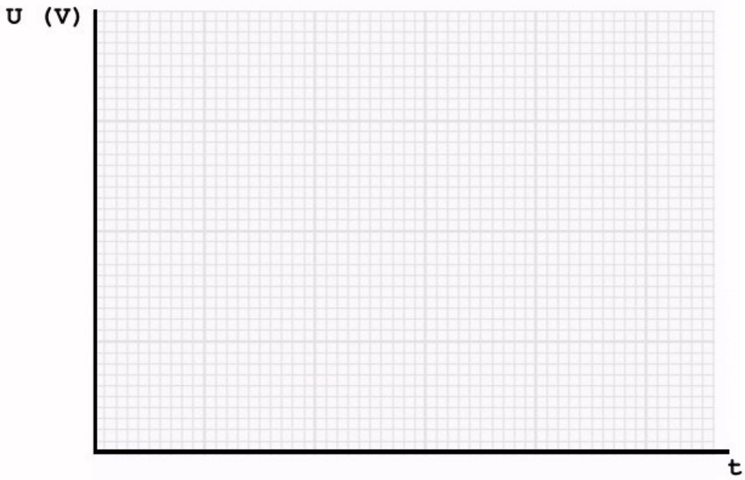
OEFENING

Hiernaast is afgebeeld het verloop van een temperatuur T. Deze temperatuur wordt toegevoerd aan een opneemschakeling.



In de opneemschakeling wordt de temperatuur omgezet in een *evenredige* spanning u.
Bij 40^0C is u = 3 V.

Teken het verloop van de uitgangsspanning u.
Zet spanningswaarden langs de verticale as.



BELANGRIJKE EIGENSCHAPPEN VAN OPNEEMSCHAKELINGEN

Opneemschakelingen worden meestal aan de ingang van een informatie-verwerkend systeem toegepast. In verband hiermede zijn de volgende eigenschappen van belang.

- De gevoeligheid.

  Hiermee wordt bedoeld, de uitgangsspanning van de opneemschakeling per eenheid van de ingangsinformatie.

  Voorbeelden:

  De gevoeligheid van een temperatuur-opneemschakeling wordt uitgedrukt in volt per ^{0}C (bijv. 100 μV/^{0}C).

  De gevoeligheid van een licht-opneemschakeling wordt uitgedrukt in volt per lux (bijv. 10 mV/lux).

  Als van een opneemschakeling A de gevoeligheid 100 μV/^{0}C is en van een opneemschakeling B 1 mV/^{0}C, dan zegt men dat de gevoeligheid van schakeling B *groter* is dan die van schakeling A.

  Naarmate de gevoeligheid van een opneemschakeling groter is, kan de versterking bij de informatieverwerking kleiner zijn.

- De snelheid.

  Voor het omzetten van niet-elektrische informatie in een elektrische spanning is tijd nodig. Deze tijd wordt in hoofdzaak bepaald door de traagheid van het opneem-element.

  Voorbeelden:

  De waarde van een N.T.C.- of P.T.C.-weerstand verandert pas als deze op temperatuur is gekomen. Het op temperatuur brengen van een weerstand kost tijd. Deze is langer naarmate de N.T.C. (of P.T.C.) groter van afmetingen is. Een temperatuur-opneemschakeling met een N.T.C. van kleine afmetingen zal dus sneller reageren dan met een grote N.T.C.

  Licht-opneemschakelingen uitgerust met lichtgevoelige weerstanden hebben ook een lage snelheid. De weerstand van een L.D.R. kan niet sneller veranderen dan ca. 200 kΩ/s.

- Storende bijverschijnselen.

  Bij de meeste opneemschakelingen ontstaan er naast het nuttige uitgangssignaal zogenaamde stoorsignalen.

Voorbeelden:
Bij opneemschakelingen waarin schakelaars worden gebruikt ontstaan meestal schakelpieken.
Bij opneemschakelingen uitgerust met membraan-opnemers (bijv. microfoons) komen vaak resonantie-verschijnselen voor.
Bij bijna alle opneemschakelingen verschijnen er ruissignalen op de uitgang.
Deze storende bijverschijnselen veroorzaken weinig problemen zolang ze klein zijn t.o.v. het nuttige uitgangssignaal. Soms kunnen de bijverschijnselen van de opneemschakeling bij de verdere informatieverwerking worden onderdrukt.

- De uitgangsweerstand.
  De uitgangsweerstand is van belang omdat de uitgang van een opneemschakeling wordt belast met de ingang van een vervolgschakeling.
  Als de uitgangsweerstand hoog is, vermindert de uitgangsspanning aanzienlijk bij een laagohmige belasting. Als de uitgangsweerstand laag is, is de uitgangsspanning nagenoeg onafhankelijk van de belasting. Een lage uitgangsweerstand is dus in de praktijk gewenst.

HOE KOMT HET OPNEMEN TOT STAND?

Uitgaande van het *principe* van de werking van opnemers kan men een aantal groepen van opnemers onderscheiden:

- *Elektro-magnetische opnemers.*
  Principe:
  Bewegen we een magneet in een spoel op en neer, dan wordt er in die spoel een wisselspanning opgewekt.

- *Elektro-dynamische opnemers.*
  Principe:
  Beweegt men een spoel in een magnetisch veld, dan wordt er in die spoel een wisselspanning opgewekt.

- *Elektro-statische opnemers.*
  Principe:
  Veranderen we de afstand tussen de platen of het diëlectricum van een condensator, dan verandert de capaciteitswaarde van die condensator.

- *Piëzo-elektrische opnemers.*
  Principe:
  Oefenen we beurtelings trek en druk uit op een kristal, dan ontstaat een wisselspanning over het kristal.

- *Thermische-emk opnemers.*
  Principe:
  Bij het verwarmen van een laspunt van twee verschillende materialen ontstaat er over dat laspunt een spanningsverschil.

- *Foto-emissie opnemers.*
  Principe:
  Laat men licht vallen op de kathode van een fotocel, dan gaat deze kathod meer elektronen emitteren waardoor de stroom groter wordt.

- *Foto-emk opnemers.*
  Principe:
  Laat men licht vallen op een sperlaagfotocel, dan ontstaat over deze cel een spanningsverschil.

- *Opnemers die berusten op weerstandsverandering.*
  Principe:
  Als men de soortelijke weerstand, de lengte of de doorsnede van een weerstand verandert, verandert de weerstandswaarde.

Elk van deze *principes* gaan we in deze les wat nauwkeuriger bekijken. Verder worden een aantal *opnemers* behandeld die volgens deze principes werken. Tenslotte worden bijbehorende *opneemschakelingen* onder de loep genomen.

SOORTEN OPNEMERS

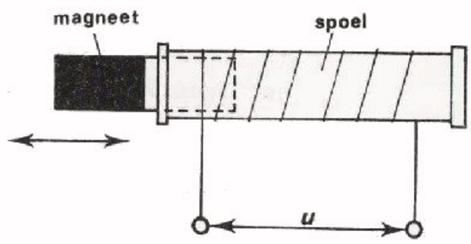
Op dit blad zijn een aantal analoge opnemers opgesomd, gerangschikt naar het *verschijnsel* dat moet worden omgezet.

De omzetters die we in deze les zullen bespreken zijn gemerkt met: ★

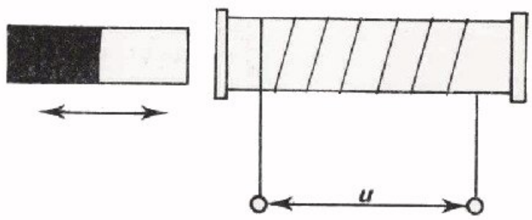
VERSCHIJNSEL	OPNEMER
Geluid	Microfoon ★
Licht en beeld	L.D.R. ★ Fotodiode ★ Fototransistor Fotocel ★ Fotovermenigvuldiger Sperlaag fotocel ★ Zonnecel TV-camerabuis
Temperatuur	N.T.C.-weerstand ★ P.T.C.-weerstand ★ Thermokoppel ★
Magnetisme	Hall-generator Weergavekop van bandrecorder ★
Mechanische trillingen	Pick-up (groeftaster) ★ Trillingsopnemer ★
Hoekverdraaiing en verplaatsing	Potentiometer Verplaatsingsopnemer
Snelheid en toerental	Trillingsopnemer ★ Tacho-generator
Rek en krimp	Rekstrookje ★

PRINCIPE ELEKTRO-MAGNETISCHE OPNEMERS

Bewegen we een magneet in een spoel heen en weer dan ontstaat er in de spoel een wisselende magnetische flux. Ten gevolge hiervan wordt er in de spoel een spanning *u* opgewekt.



Dit gebeurt ook als we de magneet naar de kern van een spoel toe en er vanaf bewegen.



Nemen we een sterkere magneet dan wordt er een grotere wisselspanning opgewekt.
Ook wordt de spanning hoger naarmate we de magneet sneller naar de spoel bewegen en terug.

In het algemeen kan men zeggen:
"Bevindt een spoel zich in een *wisselend* magnetisch veld dan wordt er in de spoel een wisselspanning opgewekt".

De opgewekte spanning is *recht evenredig* met:
- het aantal windingen van de spoel,
- de grootte van de veld-*verandering*,
- de *snelheid* waarmee het magnetisch veld verandert.

De frequentie van de opgewekte wisselspanning is gelijk aan het aantal keren per seconde dat het veld een volledige wisseling maakt.
In bovenstaand geval: het aantal keren per seconde dat de magneet heen-en-weer bewogen wordt.

OEFENING

Een magneet wordt 10 x per seconde heen en weer bewogen in een spoel.
De opgewekte spanning over de spoel wordt dan 1 V effectieve waarde.

- Hoe hoog is de frequentie van de opgewekte spanning?

f = [Hz]

- Hoe groot wordt de spanning als men de magneet 2 x per seconde heen en weer beweegt?

U_{eff} = [V]

- Hoe groot is de spanning over de spoel als men de magneet niet beweegt?

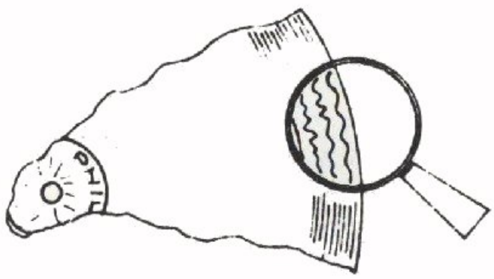
U_{eff} = [V]

UITVOERINGSVORMEN VAN ELEKTRO-MAGNETISCHE OPNEMERS

A. De elektro-magnetische pick-up.

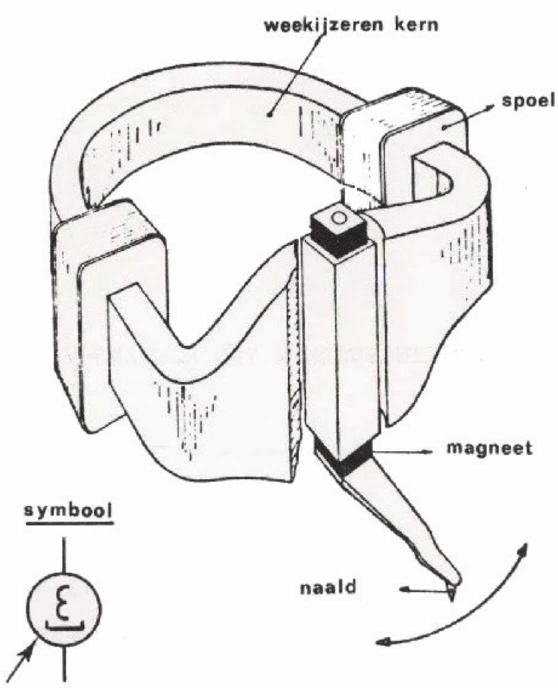
Pick-up is de algemeen gebruikte Engelse benaming voor opnemers die gebruikt worden bij het afspelen van grammofoonplaten.
Andere benamingen zijn: grammofoonopnemer of groeftaster.

Bij de grammofoon is de geluidsinformatie vastgelegd in de vorm van *mechanische* informatie op een plaat. De spiraalvormige groef van een grammofoonplaat bevat zijdelingse slingeringen.
De grootte van deze slingeringen correspondeert met de *sterkte* van de geluidsinformatie.
Het aantal slingeringen over een bepaalde groeflengte komt overeen met de *frequentie* van de geluidsinformatie.



Er bestaan verschillende soorten pick-up's.
Alle pick-up's zijn uitgerust met een naald die voorzien is van een zeer dunne punt vervaardigd uit een saffier of diamant. De slijtage van de punt is daardoor gering.
Bij het afspelen van de plaat loopt de naaldpunt door de groef en trilt in zijdelingse richting tengevolge van de groefslingeringen.
Tot zover zijn alle pick-up's in principe gelijk.
De manier waarop de naaldtrillingen omgezet worden in een elektrische informatie verschilt bij de diverse uitvoeringen.
We bespreken nu de elektro-magnetische uitvoering. Andere typen worden in het vervolg van deze les behandeld.

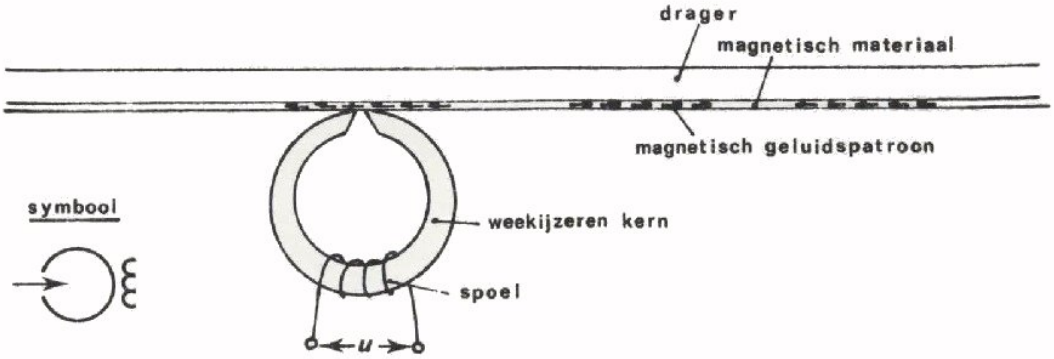
Bij een elektro-magnetische pick-up is de naald bevestigd aan een draaibaar magneetje dat zich bevindt tussen de polen van een weekijzeren kern (zie fig.).
Op de kern van deze opnemer zijn twee spoelen aangebracht.
Als het magneetje beweegt, gaat er door de kern een veranderende magnetische flux die een wisselspanning opwekt in de spoeltjes. Deze spanning wordt versterkt en aan een luidspreker toegevoerd.



Bij dit type pick-up is de opgewekte spanning afhankelijk van de frequent (Waarom)? Correctie in de frequentie-karakteristiek in de versterker is dus nodig.
Deze pick-up wordt meestal toegepast als zeer hoge eisen aan de geluidskwaliteit worden gesteld. De gevoeligheid is gering.

B. De weergavekop van een bandrecorder.

Bij een bandrecorder is de geluidsinformatie vastgelegd in de vorm van magnetische informatie op een band.
De band met het "magnetische geluidspatroon" wordt langs de luchtspleet van een ringvormige spoel gevoerd.

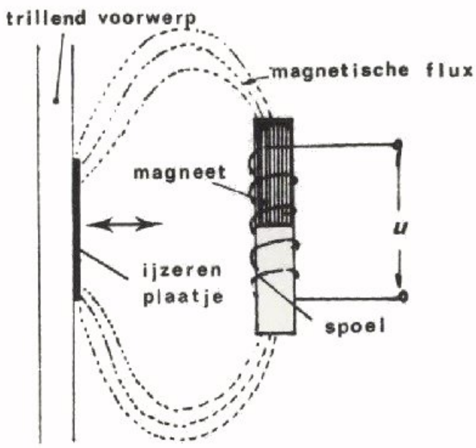


De in sterkte en onderlinge afstand wisselende "magneetjes" op de band veroorzaken een wisselende magnetische flux in de weekijzeren kern.
In de wikkeling van de spoel wordt een wisselspanning u opgewekt waarvan de frequentie en de amplitude overeenkomen met die van het geluidspatroon.
Deze wisselspanning wordt versterkt en aan een luidspreker toegevoerd.

C. Elektro-magnetische trillingsopnemer.

Trillingsopnemers gebruikt men voor het meten en registreren van trillende delen van vliegtuigen, schepen, bruggen en machineconstructies.
De trillingsopnemer wordt met het trillende voorwerp verbonden.
De mechanische trillingen worden in de opnemer omgezet in evenredige elektrische spanningen. Deze spanningen worden m.b.v. een oscilloscoop afgebeeld of m.b.v. een schrijver geregistreerd.
Er zijn verschillende soorten trillingsopnemers.

Bij een elektro-magnetische opnemer zit het magneetje vast in de spoel (zie fig.).
Op het te onderzoeken voorwerp wordt een metalen plaatje aangebracht. Bij trilling van het voorwerp wordt de afstand tussen het plaatje en de magneet afwisselend groter en kleiner.
Hierdoor verandert de magnetische flux in de spoel en ontstaat een inductiespanning u.

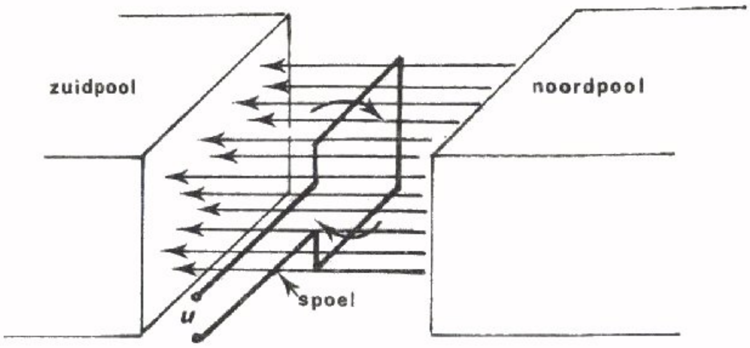


Als voordeel van deze elektro-magnetische opnemer t.o.v. andere typen geldt, dat de opnemer zelf geen contact maakt met het trillende voorwerp. De te meten trilling wordt dus niet beïnvloed ten gevolge van de trillingsopnemer. De trilling zal nauwelijks veranderen t.g.v. de geringe massa van het kleine ijzeren plaatje.

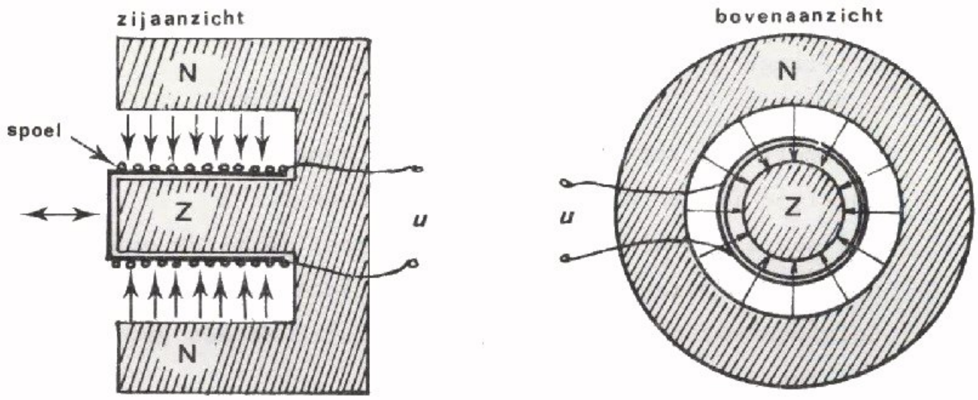
HET PRINCIPE VAN ELEKTRO DYNAMISCHE OPNEMERS

Als een bewegende geleider magnetische krachtlijnen *snijdt* wordt er in die geleider een inductiespanning opgewekt.

Draait men een spoel in een magnetisch veld rond, dan wordt er in de spoel een wisselspanning opgewekt. (In de tekening hiernaast is een één-windingsspoel getekend).



Ook met een op-en-neer-gaande beweging van een spoeltje kan een inductiespanning tot stand komen.



De amplitude van de opgewekte spanning wordt bepaald door:
- de sterkte van het magnetische veld,
- het aantal windingen en de afmetingen van het spoeltje,
- de snelheid waarmee het spoeltje ronddraait (resp. op-en-neer gaat).

De frequentie van de wisselspanning is gelijk aan het aantal keren dat het spoeltje per seconde ronddraait (resp. op-en-neer gaat).

OEFENING

De inductiespanning van bovenstaande opnemers wordt groter naarmate de

frequentie waarmee het spoeltje wordt bewogen **hoger/lager** is.

Welk type filter moet men achter deze opnemers schakelen opdat de uitgangsspanning van het filter minder afhankelijk is van de frequentie?

hoogdoorlatend/banddoorlatend/laagdoorlatend -filter.

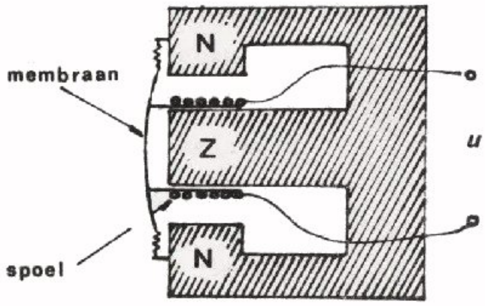
UITVOERINGSVORMEN VAN ELEKTRO-DYNAMISCHE OPNEMERS

symbool



A. De elektro-dynamische microfoon.

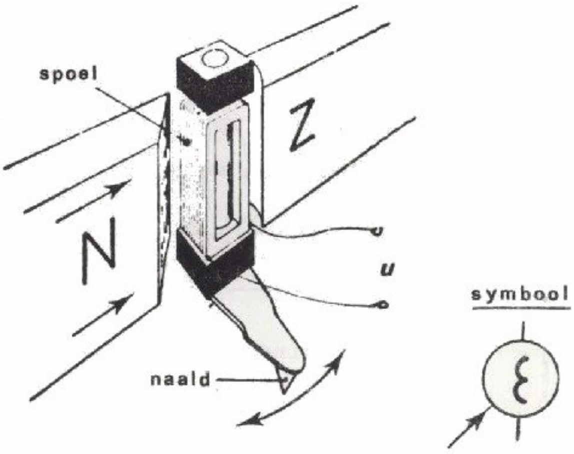
Aan een membraan is een kokervormig spoeltje bevestigd, dat kan bewegen in de ringvormige luchtspleet van een permanente magneet. Trilt het membraan t.g.v. een geluidstrilling dan beweegt het spoeltje heen en weer in het magnetische veld en worden er in het spoeltje wisselspanningen opgewekt. De frequentie van de opgewekte spanning komt overeen met die van de geluidstrilling.



De amplitude van de wisselspanning hangt af van de *snelheid* waarmee het spoeltje in het magnetische veld beweegt.
Bij eenzelfde uitwijking van het spoeltje is de opgewekte spanning groter naarmate de frequentie van het geluid toeneemt.
Geluiden met hogere frequentie veroorzaken een grotere wisselspanning dan die met lagere frequentie.
Dit verschijnsel kan men compenseren met een laagdoorlatende *RC*-filter dat achter de opnemer wordt geschakeld.
Het frequentiegebied van deze microfoons gaat tot ca. 10.000 Hz.
De elektrodynamische microfoon is zeer robuust en wordt in allerlei uitvoeringen in de handel gebracht. Dit is het type microfoon dat meestal geleverd wordt bij recorders van de midden- en hoge prijsklasse.

B. De elektro-dynamische pick-up.

De naald van de pick-up is bevestigd aan een draaibaar opgesteld rechthoekig spoeltje dat zich tussen de polen van een permanente magneet bevindt.
Beweegt het spoeltje door het trillen van de naald dan worden er wisselspanningen in opgewekt.
Evenals de elektrodynamische microfoon is deze pick-up snelheidsgevoelig. Trillingen met hoge frequentie hebben grotere spanningen tot gevolg dan trillingen van dezelfde sterkte doch met lage frequentie. Dit kan men compenseren met een *RC*-filter.
Dit type pick-up heeft een groot frequentiebereik. De gevoeligheid is evenwel gering.



C. De elektro-dynamische trillingsopnemer.

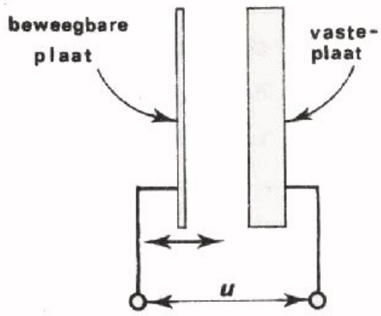
Hier is het spoeltje via een stift verbonden met het trillende voorwerp.
De opgewekte spanning is ook hier evenredig met de snelheid van het voorwerp.

OPMERKING: De uitgangsweerstand van elektro-dynamische opnemers is laag (bijv. 10 Ω), en ongeveer gelijk aan de weerstand van het spoeltje

HET PRINCIPE VAN ELEKTRO-STATISCHE OPNEMERS

Als we de afstand tussen de platen van een condensator veranderen, wordt de capaciteitswaarde van die condensator groter of kleiner.

Vergroten we de afstand tussen de platen dan neemt de capaciteit



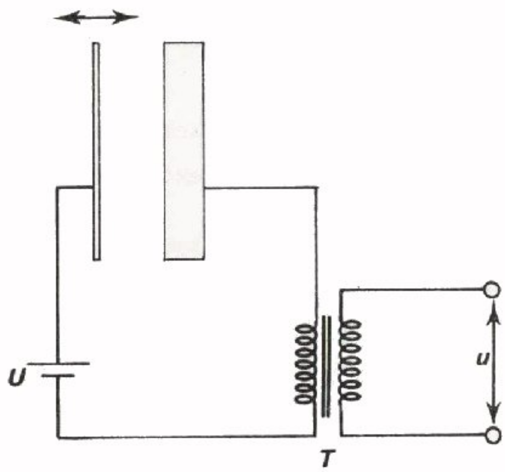
toe/af

Verkleinen we de afstand tussen de platen dan neemt de capaciteit

toe/af

Het omzetten van een capaciteitsverandering in een spanningsverandering gaat als volgt:

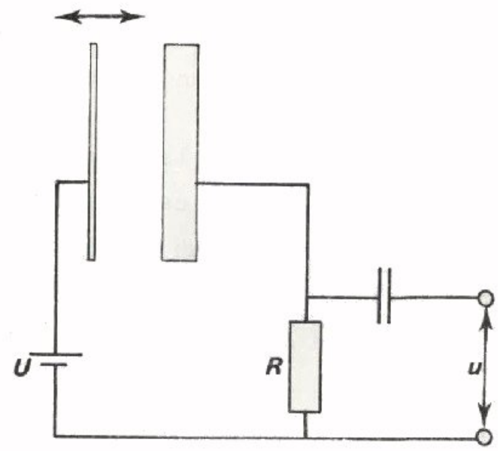
Methode 1:
De "condensator" wordt via de primaire wikkeling van een transformator aangesloten op een gelijkspanning. De condensator laadt zich op tot $Q = C \times U$.



Telkens als de capaciteit C verandert, wijzigt ook de *lading* Q (U blijft immers constant).
Er vloeit dus een wisselstroom door de primaire wikkeling die in de secundaire een wisselspanning opwekt.

Methode 2:

De "condensator" wordt via een zeer hoge weerstand (bijv. 100 MΩ) aangesloten op een gelijkspanning. De lading op de condensator is $Q = C \times U$.
Als nu een C-verandering optreedt, verandert de *spanning* over de condensator (de weerstand R is immers zo hoog, dat de lading gedurende een kortstondige C-variatie niet kan wegvloeien). De wisselspanning over de condensator wordt via een scheidingscondensator afgenomen.



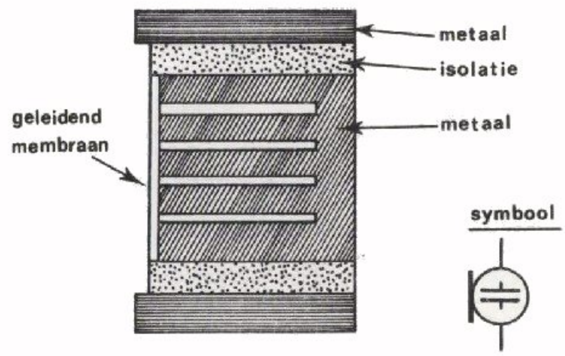
De amplitude van de opgewekte wisselspanning hangt af van de grootte van de C-variatie. De frequentie is gelijk aan die van de variatie.

OPMERKING: Er zijn ook elektro-statische opnemers gangbaar waarbij de capaciteitsverandering tot stand komt doordat het diëlektricum verandert. Een isolator met een bepaalde ε_r wordt meer of minder tussen de platen geschoven.

TOEPASSINGEN ELEKTRO-STATISCHE OPNEMERS

A. De condensatormicrofoon.

Het membraan van geleidend materiaal fungeert hier als een beweegbaar opgestelde plaat van een condensator.
De andere condensatorplaat wordt gevormd door een metalen schijf die zich in een huis van isolatiemateriaal bevindt.
Trillingen van het membraan veroorzaken capaciteitsveranderingen van de condensator.



De afstand tussen het membraan en de schijf is uiterst klein (ca. 30 µm). I.v.m. de samendrukbaarheid van de lucht tussen het membraan en de schijf, zijn in de schijf groeven aangebracht. De ruimte wordt groter terwijl de plaatafstand niet en het plaatoppervlak nauwelijks verandert.

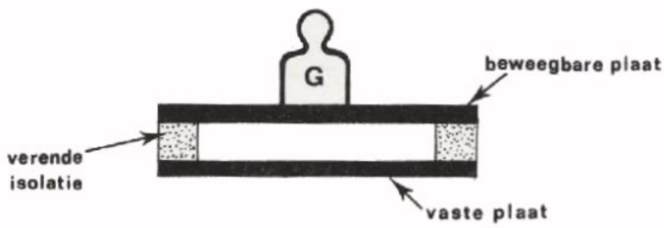
I.v.m. de lage eigencapaciteit van de microfoon (ca. 200 pF) moet de toevoerkabel capaciteitsarm zijn. Vaak brengt men daarom de eerstvolgende versterkertrap aan in het huis van de microfoon.

De R_u van deze microfoon is erg hoog, nl. 80 - 100 MΩ.

De condensatormicrofoon wordt b.v. gebruikt in laboratoria voor exacte geluidsmetingen bij het onderzoek van luidsprekers en microfoons.
Zij vereist een zeer nauwkeurige fabricagemethode en een zeer zorgvuldige behandeling.

B. Da capacitieve opnemer.

Capacitieve opnemers worden o.a. gebruikt in elektronische weegtoestellen. Deze opnemer bestaat uit een vaste en een beweegbaar opgestelde plaat. Deze zijn gescheiden d.m.v. een verende stof (bijv. rubber). De capaciteit wordt groter als men op de beweegbare plaat een gewicht plaatst. De capaciteitstoename is dus een directe maat voor de te meten grootheid. De capaciteitsverandering wordt gemeten in een brugschakeling.



OEFENING

Een condensatormicrofoon met een capaciteit van 200 pF is geschakeld volgens methode 2 op pag. 17.
De voedingsspanning is 100 V.
Ten gevolge van geluidstrillingen varieert de capaciteit van de microfoon tussen 190 pF en 210 pF.

Hoe groot is de top-top-waarde van de wisselspanning u?

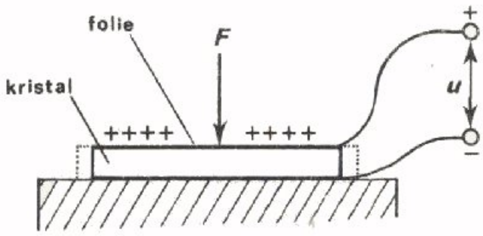
$U_{tt} \approx$ [V]

HET PRINCIPE VAN PIEZO-ELEKTRISCHE OPNEMERS

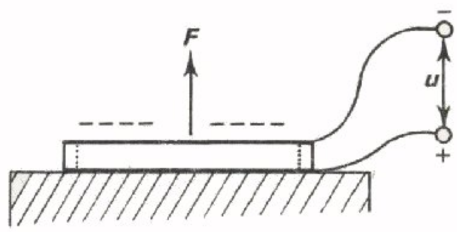
Het *piëzo-elektrisch effect* is de benaming van het verschijnsel dat een spanning optreedt in sommige kristallen en keramische materialen als hierop een mechanische kracht wordt uitgeoefend.

Een op een bepaalde wijze gesneden plaatje kristal is aan beide zijden beplakt met een dunne geleidende folie. Het kristal zelf is hoogohmig.

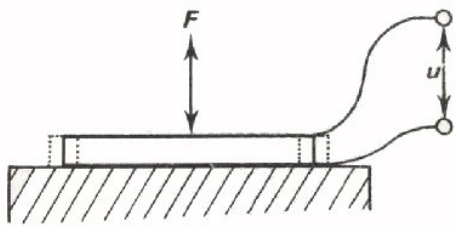
Als op dit "pakketje" een *druk*-kracht wordt uitgeoefend dan wordt het kristal iets langer (rek). Er ontstaat dan een ladingsverschil tussen de twee oppervlakken van het kristal. Tussen de twee stukjes folie meten we een *gelijk*spanning, waarbij bijv. de bovenzijde positief en de onderzijde negatief is.



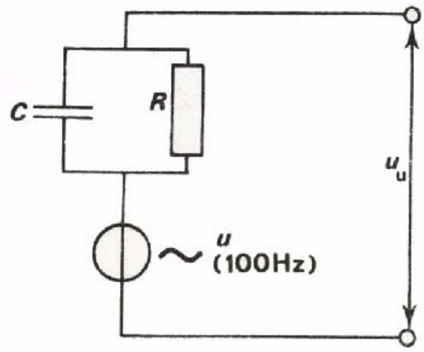
Wordt er in plaats van een drukkracht een *trek*-kracht op het krisral uitgeoefend dan wordt het kristal iets korter (krimp).
Er ontstaat nu ōók een spanning tussen de twee oppervlakken maar de polariteit is nu omgekeerd.



Oefenen we beurtelings trek en druk uit op het kristal dan ontstaat er een *wissel*spanning.
De amplitude van de *wissel*spanning is evenredig met de kracht die op het kristal wordt uitgeoefend.
De frequentie is gelijk aan het ritme van de beweging.



Hiernaast is het vervangingsschema afgebeeld van een kristal dat beurtelings (bijv. 100 maal per seconde) rekt en krimpt.
C is de capaciteit tussen de bekleedsels van het kristal (in de praktijk: 1000 - 10000 pF).
R is de weerstand van het kristal (praktisch: 1 - 10 MΩ).
De opgewekte spanning u kan een effectieve waarde van wel 1 V hebben.



OEFENING

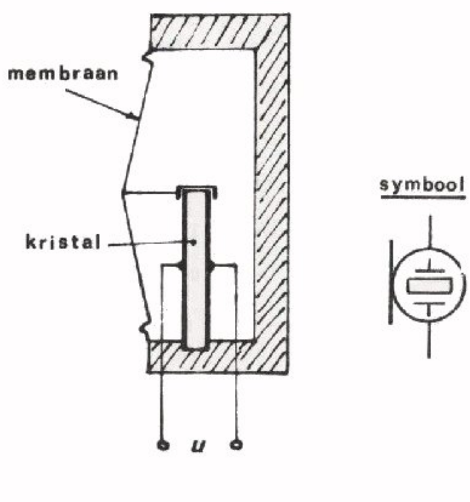
Op de klemmen van een kristal wordt een weerstand van bijv. 1 MΩ aangesloten. Zie bovenstaand vervangingsschema.
De wisselspanning u_u wordt groter naarmate de frequentie van de opgewekte

spanning u **hoger/lager** wordt.

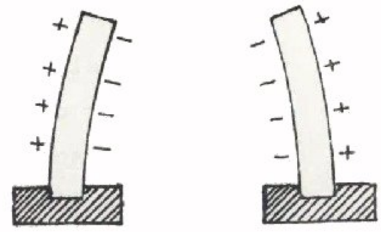
UITVOERINGSVORMEN VAN PIEZO-ELEKTRISCHE OPNEMERS

A. De kristalmicrofoon.

Een plaatje kristal is aan één zijde vast ingeklemd. De andere zijde kan bewegen en is bevestigd aan een membraan. Komt het membraan in trilling, bijv. door geluid, dan wordt het kristalplaatje verbogen, waardoor beurtelings de ene zijde rekt en de andere krimpt. Er ontstaat dan een wisselspanning over het kristal. De amplitude en de frequentie van deze spanning komt overeen met de sterkte resp. toonhoogte van het geluid.

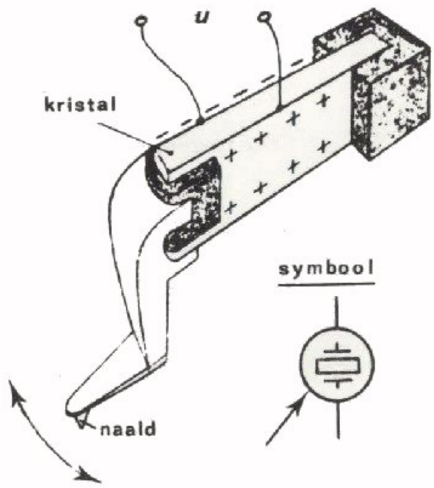


Het frequentiegebied van deze microfoons loopt van ca. 30 - 8000 Hz. Kristalmicrofoons zijn klein, goedkoop en gevoelig. Ze worden toegepast als redelijke, doch niet ál te hoge eisen aan de geluidskwaliteit worden gesteld. Ze zijn niet geschikt voor Hi-Fi-doeleinden. Bovendien kunnen zij temperaturen boven 50° C niet verdragen; het kristal smelt dan.



B. De kristal-pick-up.

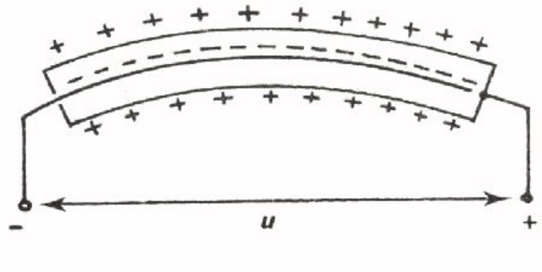
Door de zijdelingse trillingen van de naald worden spanningen opgewekt tussen de oppervlakken van het kristal.
De amplitude van deze spanning is evenredig met de uitwijking van de naald. De frequentie van de spanning is gelijk aan de frequentie van de beweging van de naald.



Dit soort pick-up's is goedkoop en gevoelig maar niet geschikt voor Hi-Fi-weergave.

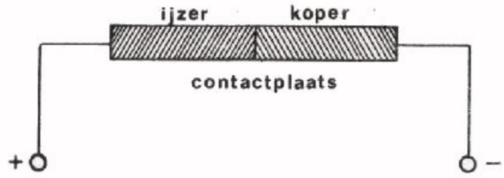
OPMERKING:

Om praktische redenen plakt men meestal twee kristallen plaatjes op elkaar (zie figuur).
Buigt het geheel, dan rekt het ene plaatje terwijl het andere krimpt. De resulterende spanning wordt afgenomen zoals hiernaast is weergegeven.

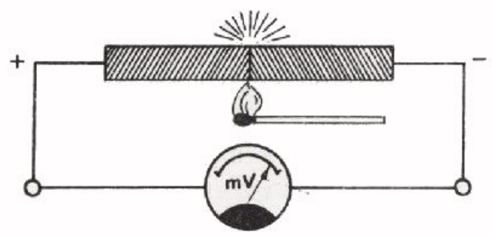


HET PRINCIPE VAN THERMISCHE-EMK OPNEMERS

Brengt men twee *verschillende* metalen met elkaar in contact dan ontstaat er op de contactplaats een elektrische spanning.
De grootte van deze spanning is niet voor alle combinaties van metalen dezelfde; tussen ijzer en zilver is deze spanning bijvoorbeeld groter dan tussen ijzer en koper.



De grootte van de spanning is bovendien sterk afhankelijk van de temperatuur van de contactplaats. Hoe hoger deze temperatuur is, des te groter is de spanning, die men daarom ook wel de *thermo-spanning* noemt.



Wordt de contactplaats *niet* verwarmd dan kunnen we de aanwezige contactspanning niet *meten*. Hoe komt dat?
Om te meten sluiten we een voltmeter aan, bijv. d.m.v. koperen meetpennen. Er worden nu twee extra contactplaatsen gevormd die dezelfde temperatuur hebben als de contactplaats waarover we de spanning willen meten. Rondgaande in het gesloten circuit krijgen we achtereenvolgens een spanning tussen koper en ijzer (b.v. +10 μV), tussen ijzer en koper (−10 μV) en tussen koper en koper (0 V).
Bij *dezelfde temperatuur* is de som van alle contactspanningen in een gesloten circuit *altijd* nul.
Pas als één van de contactplaatsen warmer wordt dan de andere is de som van de spanningen niet meer nul.

Van dit verschijnsel maakt men gebruik in *opnemers* die temperatuur omzetten in elektrische spanning. Zo'n opnemer noemt men een *thermo-koppel*.

Thermo-koppels komen in verschillende metaalcombinaties voor.
Elke combinatie heeft bepaalde eigenschappen betreffende het temperatuurgebied waarvoor zij bestemd is en de spanning die zij afgeeft per ^{0}C.

Ter illustratie een tabel met materialen waaruit de *spanningssprong* per ^0C tussen twee materialen afgelezen kan worden.

Materiaal	$\mu V/^0C$
Antimonium	100
Chromel	94
Ijzer	83
Koper	73
Manganine	74-76
Zink	72,5
Zilver	72
Constantaan	30

Voorbeeld:

Tussen ijzer en koper is de spanningssprong 83 - 73 = 10 μV per ^0C.
Wordt de contactplaats tussen ijzer en koper 50^0 C *hoger* dan de omgevingstemperatuur dan verkrijgen we een spanning van 50 x 10 μV = 500 μV.

OEFENING

Hoe groot is de afgegeven spanning van een koper-constantaan thermokoppel, als de omgevingstermperatuur 20^0 C is en de contactplaats verwarmd wordt tot 90^0 C?

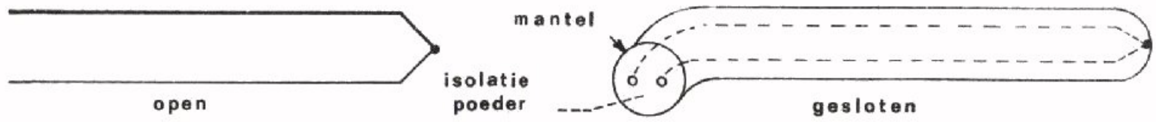
U_{th} = [ ] V

UITVOERINGSVORMEN VAN THERMOKOPPELS

Een *thermokoppel* bestaat uit twee draden van verschillend metaal die aan één zijde aan elkaar gelast zijn.
De aldus gevormde contactplaats wordt in de ruimte gebracht waaring de temperatuur gemeten moet worden of bevestigd tegen het voorwerp waarvan we de temperatuur willen meten.
De draden zijn erg dun (0,1 - 0,3 mm) om de warmteafvoer zo klein mogelijk te houden.
Hierdoor voorkomt men:
- afkoeling van de contactplaats,
- verwarming van andere contactplaatsen in het meetcircuit.

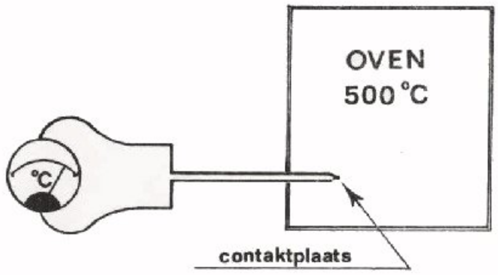
Als thermokoppel komt veel voor een combinatie van chromel en alumel. Voor lage temperaturen past men dikwijls goud en constantaan toe. Er zijn open en gesloten thermokoppels.

Bij de gesloten typen zijn de twee draden omgeven door een mantel van roestvrij staal gevuld met een isolerend poeder. Het uiteinde van de mantel waar zich de contactplaats bevindt is gesloten, waardoor het thermokoppel beschermd is tegen schadelijke invloeden zoals vocht, zuur, gassen, etc. De warmtegeleiding van de mantel is uiterst klein.



Brengen we een thermokoppel aan op de plaats waar de de temperatuur willen meten dan is de uitslag van de meter een maat voor de temperatuur.

De meter kan geijkt worden in ^{0}C.



Op de vorige pagina hebben we echter gezien dat de gemeten thermospanning afhankelijk is van het temperatuur*verschil* tussen de "meetplaats" en de andere contactplaatsen in het circuit. De temperatuur van de contacten buiten de oven is gelijk aan de omgevingstemperatuur.

Bij het meten van hoge temperaturen (bijv. 500^0 C) is de omgevingstemperatuur (bijv. 20^0 C) te verwaarlozen. De uitslag van de temperatuurmeter komt dan bij benadering overeen met de oventemperatuur. Bij het meten van lage temperaturen (bijv. 50^0 C) moet men de omgevingstemperatuur wél in rekening brengen.

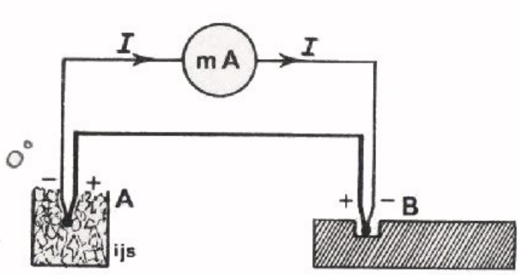
Een methode met hoge nauwkeurigheid is die waarbij de te meten temperatuur wordt vergeleken met een nauwkeurig bekende temperatuur, bijv. 0^0 C (smeltend ijs).

Hiervoor maakt men gebruik van twee volkomen gelijke volkomen gelijke thermokoppels.

De twee thermospanningen staan tegengesteld in serie.

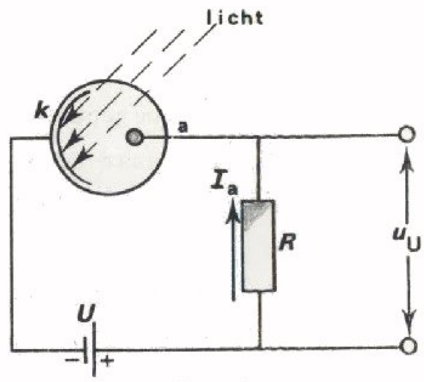
De *verschil*-spanning doet een stroom vloeien door de meter.

Deze stroom is nu evenredig met de temperatuur in punt B.



HET PRINCIPE VAN FOTO-EMISSIE OPNEMERS

Een fotocel bestaande uit een luchtledige of met gas-gevulde glazen ballon met daarin een kathode en een anode, is aangesloten op een gelijkspanning. De komvormige kathode is aan de binnenzijde bedekt met een lichtgevoelige laag.
Valt er licht op de kathode dan emitteert deze elektronen, die door de positieve anode worden aangetrokken; er vloeit een elektrische stroom van anode naar kathode.



(Bij elektronenbuizen gebeurt hetzelfde onder invloed van verhitting van de kathode: thermische emissie).

De hoeveelheid geëmitteerde elektronen en dus ook de stroom I_a is afhankelijk van de intensiteit van het licht. De uitgangsspanning u_U is dus een maat voor de hoeveelheid licht die op de kathode valt.

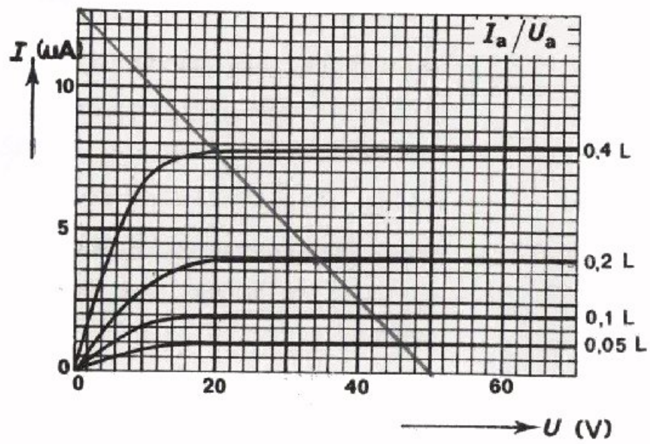
Een vacuüm-fotocel reageert *snel* maar is tamelijk ongevoelig.
Een gasgevulde-fotocel is minder snel maar wel gevoeliger.

HET PRINCIPE VAN FOTO-EMK OPNEMERS

Een ander soort lichtgevoelig element is de *sperlaag-fotocel*. Op een plaatje koper is een laagje koperoxyde aangebracht. Hier overheen zit een metaalvliesje. Opvallend licht dringt door het vliesje en maakt elektronen vrij uit de oxydelaag. De vrijgekomen elektronen gaan naar het vliesje. Tussen het vliesje en het koperen plaatje is dan een potentiaalverschil aanwezig. Het potentiaalverschil is afhankelijk van de hoeveelheid licht dat de cel treft. De lichtstroom wordt zodoende direct omgezet in spanning zonder tussenkomst van een hulpspanning.

OEFENING

In de lichtgevoelige schakeling volgens afbeelding op het vorige blad is $U = 50$ V en $R = 4$ MΩ. Van de toegepaste fotocel is hiernaast de I_a-U_a-karakteristiek afgebeeld.



- Teken in deze karakteristiek de belastingslijn van R.
- Hoeveel verandert u_U als de lichtstroom toeneemt van 0,2 lumen naar 0,4 lumen.

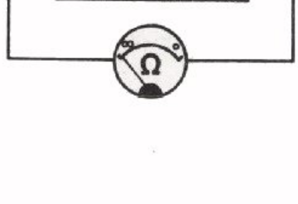
u_U verandert van [V] naar [V]

OPNEMERS WAARVAN DE WERKING BERUST OP WEERSTANDSVERANDERING

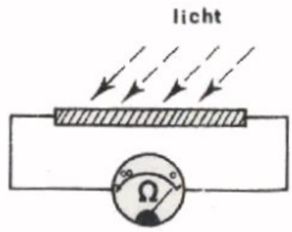
A. *Licht*gevoelige opnemers.

Principe:

Meten we de weerstand van een plaatje halfgeleider-materiaal dat zich in het *donker* bevindt, dan blijkt die erg hoog te zijn. In het materiaal bevinden zich dan weinig vrije ladingsdragers. Het geleidingsvermogen is laag; de soortelijke weerstand van het materiaal is hoog.



Valt er licht op het plaatje dan blijkt de weerstand veel lager te zijn. Onder invloed van het licht worden ladingsdragers vrijgemaakt die zich in het materiaal kunnen bewegen.
Het geleidingsvermogen is toegenomen; de soortelijke weerstand is laag.

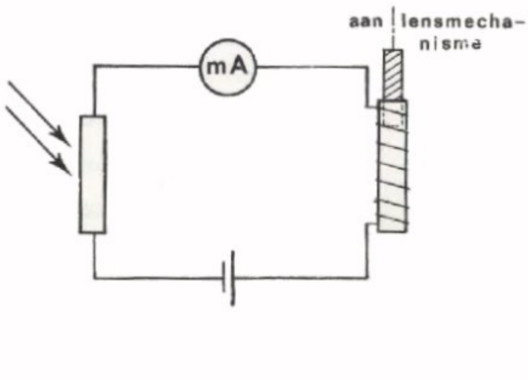


De geleiding is afhankelijk van de sterkte van het opvallende licht.
Op dit principe berusten de LDR, de fotodiode en de fototransistor.
Voordelen t.o.v. de fotocel zijn dat ze klein zijn, een grote gevoeligheid bezitten en bij lage voedingsspanningen kunnen functioneren.
De fotodiode en de fototransistor worden in hoofdzaak als digitale opnemers toegepast.
Als analoge opnemer wordt dikwijls de LDR gebruikt die erg gevoelig is maar *traag* reageert op een overgang van licht naar donker.

a. De lichtgevoelige weerstand (LDR).

De LDR is een lichtgevoelige weerstand die in het donker een zeer hoge en in licht een zeer lage weerstandswaarde heeft. In vele LDR's wordt als halfgeleidermateriaal cadmium-sulfide toegepast.
Men gebruikt daarom vaak de naam: *cadmium-sulfide-cel* of kortweg CdS-cel.

Een analoge toepassing vinden we in foto-camera's met automatische belichtingsregeling. De stroom door de LDR is een maat voor de hoeveelheid licht die op de LDR valt.
Op de meter kan men de lichtsterkte aflezen. Tegelijkertijd wordt een weekijzeren kerntje meer of minder ver in het spoeltje "gezogen". (Elektromagnetisch principe).



Het kerntje is bevestigd aan een mechanisme dat de lensopening groter of kleiner maakt.

b. De lichtgevoelige halfgeleiderdiode (foto-diode).

Foto-dioden hebben zoals alle dioden een doorlaat- en een sperrichting. Een foto-diode wordt altijd in sperrichting geschakeld (zie fig.). De sperstroom I_V is zeer klein (vooral bij silicium dioden) en nagenoeg onafhankelijk van de aangelegde voedingsspanning U. De sperstroom is wél afhankelijk van het licht dat op de diode valt. Als de lichtintensiteit toeneemt, neemt ook de sperstroom toe. De uitgangsspanning u_U is een maat voor die lichtintensiteit.

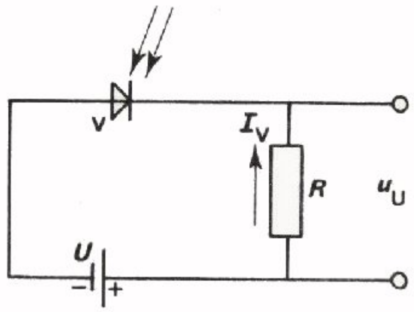
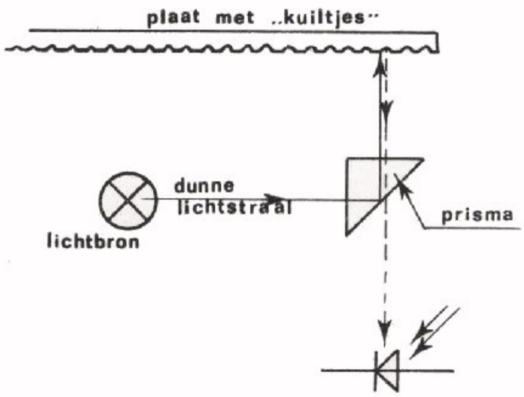


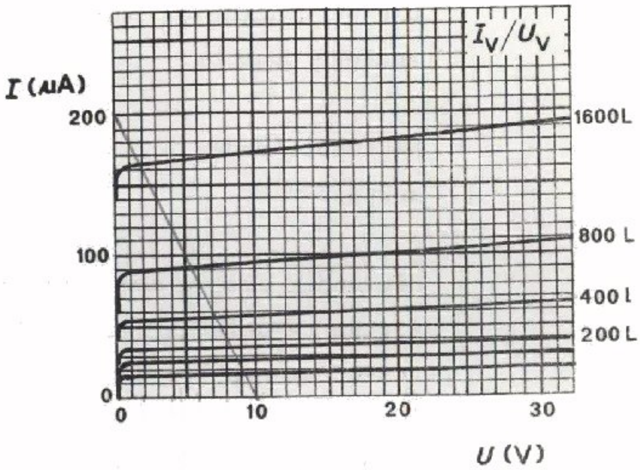
Foto-dioden zijn minder gevoelig dan de LDR's maar reageren veel sneller.

Een toepassing van de foto-diode vinden we in de weergaveapparatuur van de *Philips*-video-langspeelplaat. De beeld- en geluidsinformatie is vastgelegd op een ronde reflecterende plaat in de vorm van microscopisch kleine kuiltjes. Hierop komen we in het vervolg van deze cursus nog terug.
Terwijl de plaat ronddraait, wordt het oppervlak door een uiterst dunne lichtstraal afgetast. De lichtstraal wordt door het spiegelend oppervlak wél en door de kuiltjes niet teruggekaatst.
De gereflecteerde lichtstraal komt terecht op een foto-diode die de lichtvariaties omzet in elektrische beeld- en geluidsinformatie.



OEFENING

In de lichtgevoelige schakeling volgens bovenstaande afbeelding is U = 10 V en R = 50 kΩ. Van de toegepaste foto-diode is hiernaast de I_V - U_V - karakteristiek afgebeeld.



- Teken in deze karakteristiek de belastingslijn van R.
- Hoeveel verandert u_U als de verlichtingssterkte toeneemt van 400 lux naar 800 lux?

u_U verandert van [V] naar [V]

B. *Temperatuur*gevoelige opnemers.

Principe:

Het geleidingsvermogen van een weerstand is groter naarmate het aantal vrije ladingsdragers groter is en naarmate deze zich beter kunnen bewegen. Bij toenemende temperatuur neemt het aantal vrije ladingsdragers toe maar neemt hun beweeglijkheid af.

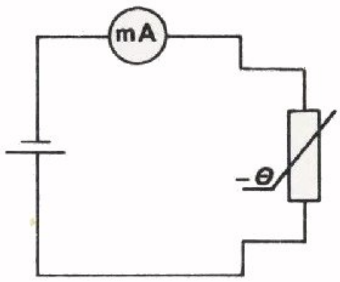
Als het eerste effect overheerst dan wordt het geleidingsvermogen van de weerstand groter bij toenemende temperatuur. We hebben te maken met een weerstand met een *negatieve* temperatuurcoëfficient.
Deze weerstanden noemt men NTC-weerstanden.

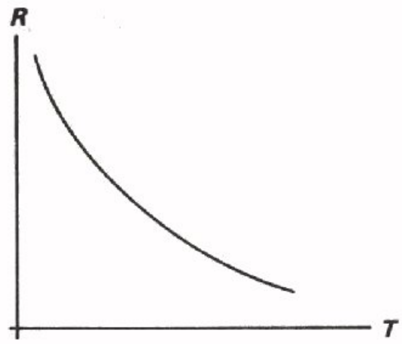
Als het tweede effect overheerst dan wordt het geleidingsvermogen van de weerstand kleiner bij toenemende temperatuur. We hebben te doen met een weerstand met een *positieve* temperatuurcoëfficient.
Dergelijke weerstanden noemt men PTC-weerstanden.

PTC-weerstanden (ook wel PTC-*thermistors*) genoemd, worden veelal gebruikt als begrenzing of beveiliging in elektronische schakelingen en zelden als analoge opnemer.

NTC-weerstanden (of NTC-*thermistors*) worden wel vaak als temperatuuropnemer gebruikt.

Hieronder ziet u een eenvoudige temperatuurmeter met NTC-weerstand getekend. Als de temperatuur van de NTC stijgt, wordt de weerstandswaarde lager en vloeit er een grotere stroom door de meter. De meter kan geijkt worden bijv. in ^{0}C.
Voor niet al te nauwkeurige metingen is deze goedkope thermometer goed bruikbaar, bijv. in auto's voor het meten van de motortemperatuur.





Wil men een NTC als temperatuuropnemer gebruiken dan moet men met het volgende rekening houden:

- Kies een NTC waarvan de overdracht van de temperatuur naar het NTC-materiaal zo goed mogelijk is. Er zijn speciale NTC's in de vorm van een thermometer.
- Te grote stromen door de NTC, verwarmen de NTC van binnenuit waardoor misaanwijzing ontstaat. Kies de voedingsspanning daarom zo laag mogelijk.

NTC's zijn bruikbaar tot 150 à 200 ^{0}C, afhankelijk van het type.
Ze zijn slechts binnen enkele ^{0}C nauwkeurig.
Voor het meten van hogere temperaturen gebruikt men het thermokoppel waarmee bovendien nauwkeurigheden van 0,1 ^{0}C te verwezenlijken zijn.

C. Opnemers voor mechanische krachten.

Rekstrookjes.

Principe:
Als een draad van weerstandsmateriaal onderhevig is aan rek of krimp dan verandert de lengte en de doorsnede van die draad. Zolang een zekere grens niet wordt overschreden, zijn die veranderingen qua grootte evenredig met de aangewende kracht.

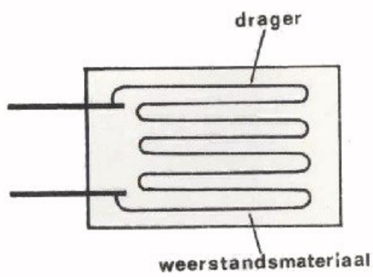
Als een weerstandsdraad rekt, wordt de lengte hiervan

groter/kleiner

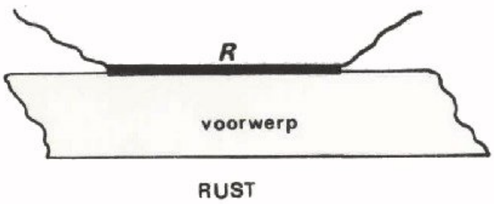
de doorsnede groter/kleiner en de weerstandswaarde

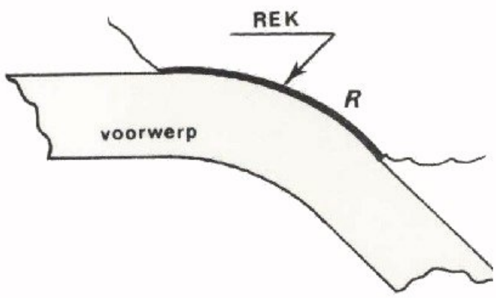
hoger/lager

Een rekstrookje bestaat uit een dunne weerstandsdraad of een strookje folie van weerstandsmateriaal, bevestigd op een isolerende drager (bijv. plastic). De in de praktijk gebruikte rekstrookjes hebben een weerstandswaarde van 100 tot 1000 Ω.



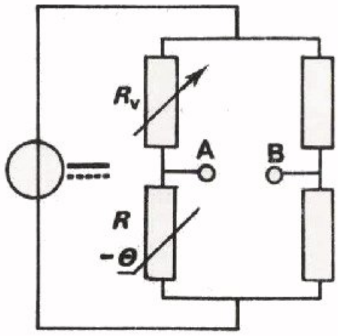
Door een rekstrookje stevig vast te lijmen op een voorwerp waarin men krachten wil meten, ondervindt het rekstrookje dezelfde vormveranderingen die het voorwerp op die plaats ondervindt. Deze vormveranderingen resulteren in een weerstandsverandering.





De weerstandsverandering van het rekstrookje wordt omgezet in een spanningsverandering m.b.v. een gevoelige brugschakeling.

De brug wordt d.m.v. R_v in evenwicht gebracht als het rekstrookje R nog onbelast is.
Zodra er krachten op het rekstrookje werkzaam zijn raakt de brug uit evenwicht en is de spanning u_{AB} een maat voor de weerstandsverandering en dus voor de kracht.



Op deze manier is het mogelijk grote krachten te meten en te registreren in hijskranen, bruggen, vliegtuigen, etc. maar ook zeer kleine krachten zoals bijv. de contactdruk van schuifschakelaars.

SAMENVATTING

- In deze les hebben we de werking van een aantal analoge opnemers en de bijbehorende schakelingen besproken.
  Opneemschakelingen zijn schakelingen waarin niet-elektrische informatie wordt omgezet in evenredige elektrische spanningen.

- De belangrijkste eigenschappen van opneemschakelingen zijn:
  - De gevoeligheid.
  - De snelheid.
  - Storende bijverschijnselen.
  - De uitgangsweerstand.

- Opnemers van geluid.
  Als geluidsopnemers hebben we een drietal microfoons besproken.
  - De *kristalmicrofoon* die op het piëzo-elektrische principe berust is erg gevoelig en heeft een frequentiegebied van 30-8000 Hz. Men mag er evenwel geen al te hoge eisen aan stellen. De R_u bedraagt ca. 1 MΩ.
  - De *elektrodynamische microfoon* waarin een spoeltje op en neer wordt bewogen in een magnetisch veld, is snelheidsgevoelig. Hoge tonen geven een grotere uitgangsspanning dan lage.
    Het frequentiegebied loopt tot ca. 10.000 Hz.
  - De *condensatormicrofoon* is in feite een condensator waarvan de capaciteit veranderd wordt. Het is een precisie-instrument dat voornamelijk in laboratoria gebruikt wordt. Er is altijd een hoge hulpspanning nodig. De R_u is 80 - 100 MΩ.

- Opnemers van licht.
  - Van het principe van foto-geleiding wordt gebruik gemaakt bij de LDR en de *foto-diode*. Het geleidingsvermogen neemt toe onder invloed van licht.
    Bij foto-dioden is dit effect alleen merkbaar in sperrichting. Ze zijn minder gevoelig dan een LDR maar reageren sneller.
  - In de *fotocel* wordt gebruik gemaakt van de foto-emissie. Elektronen treden uit de katode als er licht op valt.

- Opnemers van temperatuur.
  - NTC-*weerstanden* of *thermistors* worden gebruikt voor niet al te nauwkeurige metingen van temperaturen tot 150 à 200 °C.
    Te grote stromen door de NTC veroorzaken "valse warmte".
  - Met een *thermokoppel* kunnen hoge temperaturen gemeten worden met grote nauwkeurigheid, vooral als men twee gelijke thermokoppels gebruikt waarvan één op een constante temperatuur wordt gehouden, bijv. 0 °C.

- Opnemers van mechanische trillingen.
  - De *kristal-pick-up* is gevoelig maar niet geschikt voor Hi-Fi-weergave.
  - De *elektrodynamische pick-up* is minder gevoelig (vóórversterking is noodzakelijk) maar heeft een veel betere frequentiekarakteristiek.
    De snelheidsgevoeligheid kan met een *RC*-filter gecorrigeerd worden.
  - De *elektromagnetische pick-up* die eveneens minder gevoelig én snelheidsafhankelijk is, wordt toegepast als zeer hoge eisen worden gesteld.
  - Andere *trillingsopnemers* berusten meestal op een van deze principes.

- Opnemer van mechanische krachten.
  - Het *rekstrookje* zet allerlei vormen van kracht om in een weerstandsverandering en maakt het meten en registreren van trek, druk, buiging, torsie, etc. mogelijk.

NAAM:

KLAS:

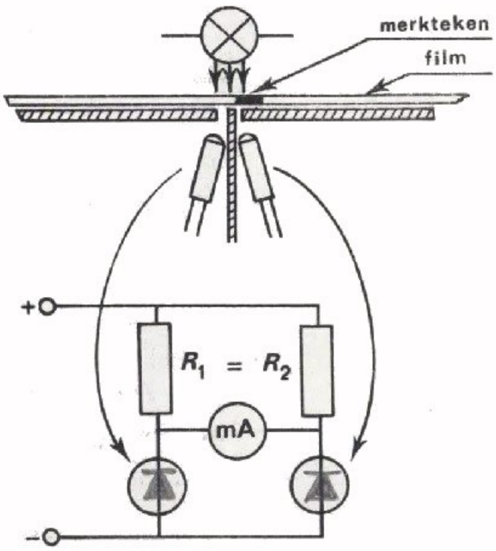
OEFENINGEN

1. Een snelheids-opneemschakeling heeft een gevoeligheid van 10 V per m/s.

   Hoeveel verandert de uitgangsspanning van de opneemschakeling als de snelheid van het te meten object toeneemt vanaf ¼ m/s tot ½ m/s?

   u_U verandert vanaf [V] naar [V]

2. Voor het exact op zijn plaats brengen van een film-negatief van een printplaat op een afdruktafel, maakt men gebruik van een elektronische brugschakeling met twee foto-dioden. De doorzichtige film heeft een merkteken in de vorm van een dunne zwarte lijn.
   Als de film ongeveer op zijn plaats ligt wil men op een meter af kunnen lezen hoever en in welke richting de film van de juiste plaats afligt. (De nulstand van de meter ligt op het midden van de schaal).



   - Teken de foto-dioden in de brugschakeling.
   - Vertel in het kort hoe men aan de hand van de meteruitslag kan constateren of de film op zijn plaats ligt.

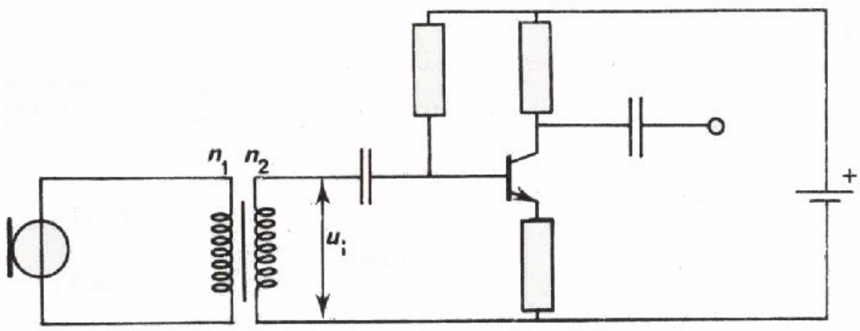
Antwoord:

3. Een microfoon wordt via een transformator verbonden met de ingang van een transistorversterker.

De uitgangsweerstand van de microfoon is 1 MΩ.

De transformatie-verhouding van de transformator $\frac{n_1}{n_2} = 10$.

De ingangsweerstand van de versterker is 10 kΩ.



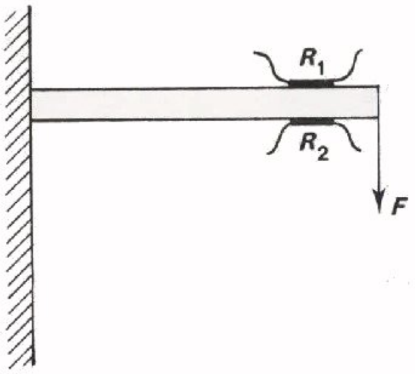
In *onbelaste* toestand levert de microfoon een wisselspanning van 1 V, effectieve waarde.

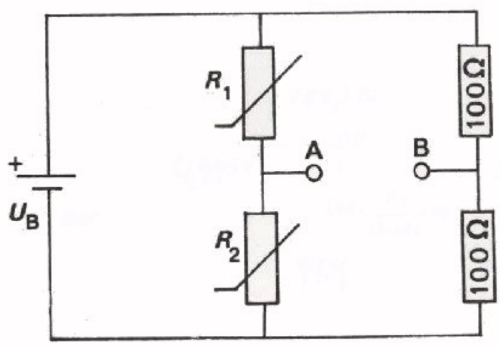
Hoe groot is de ingangsspanning u_i van de versterker als de microfoon op bovenstaande wijze is aangesloten.

U_{eff} = [   ] V

4. Twee rekstrookjes R_1 en R_2 van elk 100 Ω zijn op een balk geplakt zoals in fig. a is weergegeven. De balk wordt belast door een kracht F. Hierdoor verandert de weerstandswaarde van de rekstrookjes met 0,1 Ω.

De rekstrookjes zijn opgenomen in een brugschakeling zoals in fig. b is getekend. De voedingsspanning van de schakeling U_B = 10 V.





- Wordt ten gevolge van F de waarde van R_1 en R_2 groter of kleiner?

R_1 wordt [   ] en R_2 wordt [   ]

- Bereken de spanning U_{AB}.

U_{AB} = [   ] V

C 28

W E E R G E E F S C H A K E L I N G E N

K O R T E H E R H A L I N G V A N D E V O O R G A A N D E L E S

- In de vorige les hebben we gezien hoe allerlei natuurlijke verschijnselen zoals temperatuur, licht en kracht kunnen worden omgezet in evenredige elektrische spanningen. Schakelingen die dit uitvoeren noemen we *opneemschakelingen*. Het onderdeel van de opneemschakeling dat reageert op de natuurlijke verschijnselen noemen we een *opnemer*.
- De belangrijkste eigenschappen van opneemschakelingen zijn:
  - de gevoeligheid
  - de snelheid
  - storende bijverschijnselen
  - de ingansweerstand
- De volgende opnemers zijn aan de orde geweest:
  - voor het opnemen van licht:
    L.D.R., fotodiode, fotocel, sperlaag fotocel.
  - voor het opnemen van temperatuur:
    N.T.C.-weerstand, P.T.C.-weerstand, Thermokoppel.
  - voor het opnemen van magnetisme:
    weergavekop van bandrecorder.
  - voor het opnemen van mechanische trillingen:
    Pick-up (groeftaster), trillingsopnemer.
  - voor het opnemen van rek en krimp:
    rekstrookjes.

pagina C28-2 ontbreekt

pagina C28-3 ontbreekt

BELANGRIJKE EIGENSCHAPPEN VAN WEERGEEFSCHAKELINGEN.

Weergeefschakelingen worden meestal aan de uitgang van een informatieverwerkend systeem toegepast. In verband hiermede zijn de volgende eigenschappen van belang.

- De gevoeligheid.

Hiermee wordt bedoeld, de grootte van de uitgangsinformatie bij een bepaalde waarde van het ingangssignaal.
Voorbeelden:
De gevoeligheid van een licht-weergeefschakeling (b.v. lamp) wordt opgegeven in de grootte van de lichtstroom per eenheid van ingangsvermogen (Lumen per Watt).
De gevoeligheid van een licht-weergeefschakeling (voltmeter) wordt weergegeven in de grootte van de wijzeruitslag per eenheid van ingangsspanning (bijv. volle uitslag per 100 mV).

- De snelheid.

Voor het omzetten van elektrische informatie in niet-eletrische informatie is tijd nodig. Deze tijd wordt in hoofdzaak bepaald door de traagheid van het weergeefelement.
Voorbeelden:
Bij een luidspreker wordt een conus in beweging gebracht. Naarmate deze conus een groter oppervlak heeft kan deze minder snel trillen. Hoge-tonen luidsprekers hebben dan ook een kleinere conus. Bij een draaispoelmeter moet een wijzer in beweging gebracht worden. Het duurt fracties van een seconde voordat de wijzer het einde van de schaal heeft bereikt.

- Storende bijverschijnselen.

Bij een aantal weergeefschakelingen ontstaat er naast de nuttige uitgangsinformatie zogenaamde stoorsignalen.
Voorbeelden:
Bij weergeefschakelingen waarin schakelaars voorkomen, ontstaan soms schakelpieken. Bij weergeefschakelingen waarin wijzerinstrumenten worden toegepast, kunnen resonantieverschijnselen van het wijzersysteem optreden. Deze storende bijverschijnselen veroorzaken weinig problemen zolang ze klein zijn t.o.v. het nuttige uitgangssignaal.

- De ingangsweerstand.

  De ingangsweerstand is van belang omdat de ingang van de weergeefschakelinling wordt aangesloten op de uitgang van het informatie-verwerkend systeem. Als bijv. de ingangsweerstand van de weergeefschakeling laag is en de uitgangsweerstand van de voorafgaande schakeling hoog, dan verliest men veel spanning.

OEFENING:

Een weergeefschakeling met een R_i van 100Ω wordt aangesloten op de uitgang van een schakeling met een R_u van 900Ω.

Welk deel van de spanning die de schakeling kan leveren wordt hier benut ?

Antwoord: [ ]

HOE KOMT HET WEERGEVEN TOT STAND ?

Uitgaande van het *principe* van de werking van weergevers kunnen we een aantal groepen onderscheiden.
De belangrijkste zijn:

- Elektro-magnetische weergevers
  Principe:
  Voeren we een stroom door een spoel, dan gedraagt die spoel zich als een magneet.

- Elektro-dynamische weergevers
  Principe:
  Als een stroomvoerende geleider zich in een magnetisch veld bevindt, dan wordt er op die geleider een kracht uitgeoefend.

- Elektro-statische weergevers
  Principe:
  Bij een geladen condensator trekken de platen elkaar aan (bij ongelijknamige ladingen), of stoten elkaar af (bij gelijknamige ladingen).

- Piëzo-elektrische weergevers.
  Principe:
  Sluiten we op een kristal een wisselspanning aan, dan treden er in het kristal vormveranderingen op.

- Thermische weergevers
  Als men b.v. een elektrische stroom een laspunt van twee verschillende materialen verwarmt, neemt de gelijkspanning over dat laspunt toe.
  Deze spanning wordt m.b.v. een gelijkspanningsmeter weergegeven.

- Principes van weergevers die elektrische energie omzetten in licht.
  - Als men voldoende elektrische energie toevoert aan een dunne draad dan gaat die gloeien en verspreidt licht.
  - Bepaalde vaste stoffen lichten op als ze door elektronen met grote snelheid worden getroffen.
  - Bij toevoer van voldoende elektrische energie aan gasgevulde buizen lichten deze op.
  - Sommige halfgeleiderdioden geven licht bij voldoende stroom in doorlaatrichting.

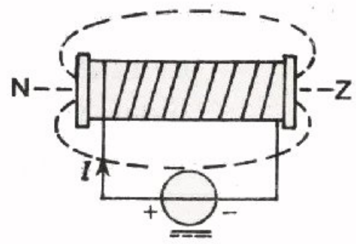
Elk van deze *principes* gaan we in deze les wat gedetailleerder onder de loep nemen. Verder zullen we een aantal *weergevers* behandelen die volgens deze principes werken. Tenslotte komen een aantal *weergeefschakelingen* aan de orde.

SOORTEN WEERGEVERS

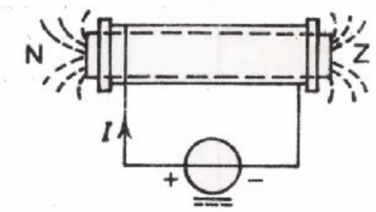
Dit blad geeft een overzicht van analoge weergevers, gerangschikt naar het *verschijnsel* dat ze opleveren.
De weergevers, die in deze les worden behandeld, zijn gemerkt met: ★

VERSCHIJNSEL	WEERGEVER
Geluid	Luidspreker ★ Telefoon ★
Licht en beeld	Gloeilamp Neonlamp ★ Beeldbuis TV Afstemindicatorbuis LED ★ Elektronenstraalbuis ★
Temperatuur	Verwarmingselement Thermo-element voor een thermokoppelmeter ★
Magnetisme	Elektromagneet Opnamekop voor een bandrecorder ★
Mechanische trillingen	Trillingsgever
Hoekverdraaiing en verplaatsing	Synchro Stappenmotor Relais ★ Wijzerinstrument ★ (meter)
Snelheid en toerental	Motors

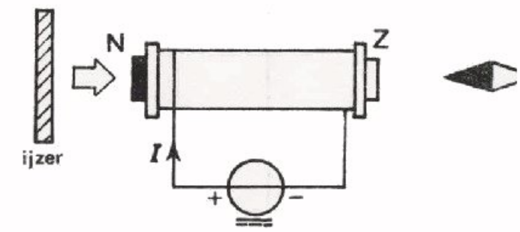
HET PRINCIPE VAN ELEKTROMAGNETISCHE WEERGEVERS.



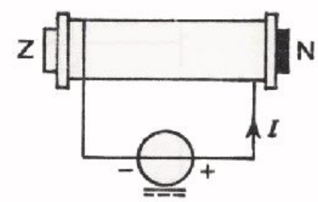
Sturen we een *gelijk*stroom door een spoel dan ontstaat er in die spoel een magnetisch veld. De sterkte van dat veld is afhankelijk van het aantal windingen en de stroomsterkte. Hoe groter de stroom, des te sterker is het magnetische veld.



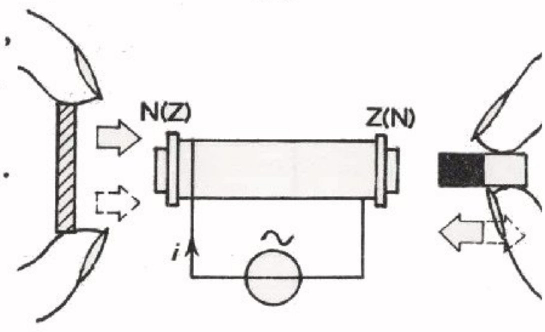
Dit magnetische veld kan aanzienlijk worden versterkt door de spoel te voorzien van een weekijzeren kern. Deze kern wordt ten gevolge van de stroom gemagnetiseerd.



In beide gevallen gedraagt de spoel zich als een permanente magneet, met een noordpool en een zuidpool. De *elektro-magneet* blijkt in staat te zijn (net als de permanente magneet) ijzer aan te trekken. Gelijknamige magneetpolen stoten elkaar af en ongelijknamige polen trekken elkaar aan.



Keren we de polariteit van de spanningsbron om, dan vloeit de stroom in tegengestelde richting door de spoel en keert ook de richting van het magnetische veld om.



Sturen we een *wissel*stroom door de spoel, dan ontstaat er een *wisselend* magnetisch veld. Het veld keert net zo dikwijls om als de richting van de stroom omkeert. Houden we een stukje ijzer in de buurt van de spoel of de spoelkern dan wordt het telkens éven aangetrokken; het stukje ijzer begint te trillen. Houden we een permanentmagneetje in de buurt dan wordt het beurtelings afgestoten en aangetrokken; het gaat ook trillen.

OEFENING:

Als de frequentie van de wisselstroom door de spoel 150 Hz is (zie bovenstaande figuur) hoe dikwijls per seconde maakt het stukje weekijzer dan een volledig heen-en weergaande beweging? En het magneetje?

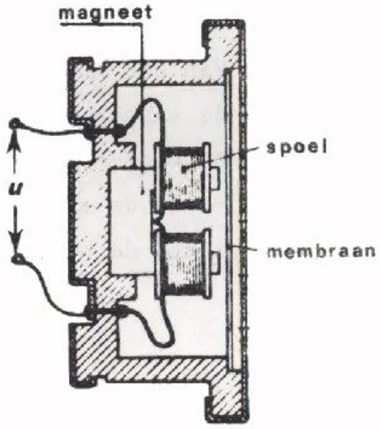
Het stukje weekijzer [keer]   Het magneetje [keer]

UITVOERINGSVORMEN VAN ELEKTRO-MAGNETISCHE WEERGEVERS.

A. De telefoon

De telefoon is een *geluids*weergever.

Op de polen van een U-vormige permanente magneet zijn twee spoeltjes bevestigd, die in serie geschakeld zijn. Vlak bij de twee magneetpolen bevindt zich een weekijzeren membraan. Door de twee spoeltjes vloeit een wisselstroom die de geluidsinformatie bevat. De wisselstroom versterkt of verzwakt het magnetische veld van de permanente magneet. Het membraan wordt daardoor sterker of minder sterk aangetrokken en gaat trillen. Het trillende membraan brengt de omringende lucht in trilling. Ons oor neemt die luchttrilingen waar als geluid. Hoe sterker de stroom door de spoeltjes is, des te groter is de heen-en weergaande beweging van het membraan en des te harder klinkt het geluid. Naarmate de frequentie van de stroom hoger is nemen we een hogere toon waar.





De hoorn van een telefoontoestel bevat een dergelijke telefoon.

Een *hoofd*telefoon bestaat uit twee van deze weergeefsystemen die aan een beugel bevestigd zijn. De spoelstellen van de twee "schelpen" kunnen parallel of in serie geschakeld zijn.

Er bestaan ook elektro*dynamische* hoofdtelefoons. Het principe hiervan wordt later in deze les besproken.

OEFENINGEN:

1. Waarom gebruikt men in elektro-magnetische telefoons als spoelkern een permanente magneet en niet een weekijzeren kern ?

   Antwoord:

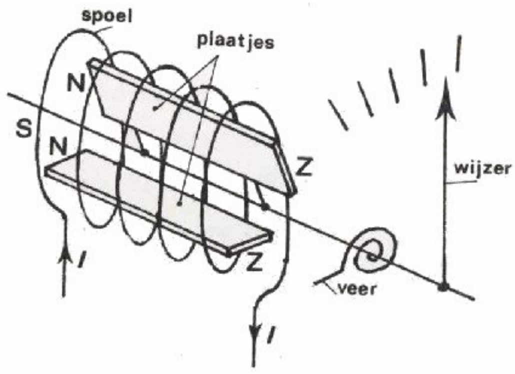
2. Van een hoofdtelefoon weten we dat de weerstand van één spoeltje in de schelp 500Ω is.

   Hoeveel bedraagt de weerstand van een complete hoofdtelefoon:

   - als de schelpen in serie geschakeld zijn ? [Ω]
   - als de schelpen parallel geschakeld zijn ? [Ω]

VERVOLG ELEKTRO-MAGNETISCHE WEERGEVERS

B. De weekijzerenmeter



symbool 

Twee weekijzeren plaatjes bevinden zich in een spoel. Het ene plaatje zit vast in de spoel. Het andere kan draaien en is voorzien van een wijzer. Vloeit er een stroom door de spoel dan worden beide plaatjes gelijknamig gemagmetiseerd waardoor ze elkaar afstoten. Het draaibare plaatje beweegt zich van het vaste plaatje af waardoor we een wijzeruitslag verkrijgen.

Een veertje, bevestigd aan de as, zorgt voor een tegenkracht, doordat bij draaiing het veertje gespannen wordt.

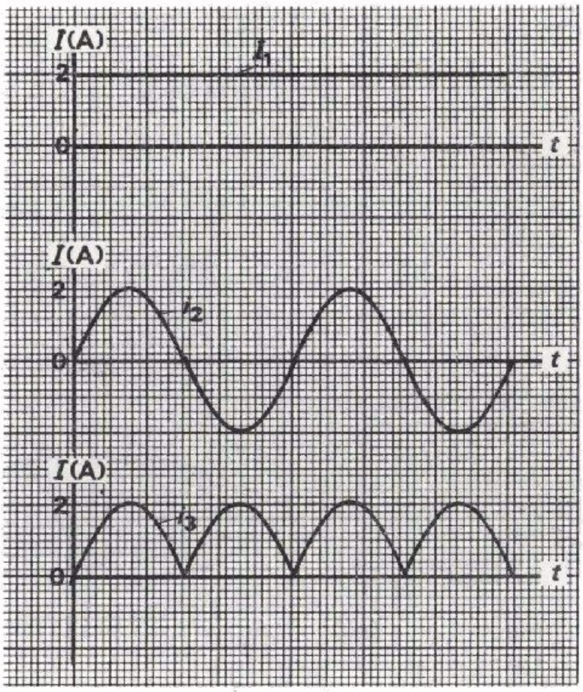
Vloeit er geen stroom door het spoeltje dan is het veertje ontspannen en wijst de meter nul aan.

Vloeit er wel stroom door het spoeltje dan draait een van de plaatjes totdat de spankracht in het veertje gelijk is aan de kracht op dit plaatje.

De richting van de stroom door de spoel is niet van belang. Keren we de stroom om dan worden de plaatjes in tegengestelde richting maar nog steeds gelijknamig gemagnetiseerd. De weekijzermeter is dus niet polariteitgevoelig. Men kan er zowel gelijk- als wisselstroom mee meten. De uitslag van een weekijzermeter geeft altijd de *effectieve* waarde aan. Deze meter is robuust maar heeft geen grote gevoeligheid. Ze wordt voornamelijk in sterkstroominstallaties toegepast.

OEFENING:

De hieronder afgebeelde stromen I_1, I_2 en I_3 worden achtereenvolgens gemeten m.b.v. een weekijzerenmeter.



Uitslag 1: [A]

Uitslag 2: [A]

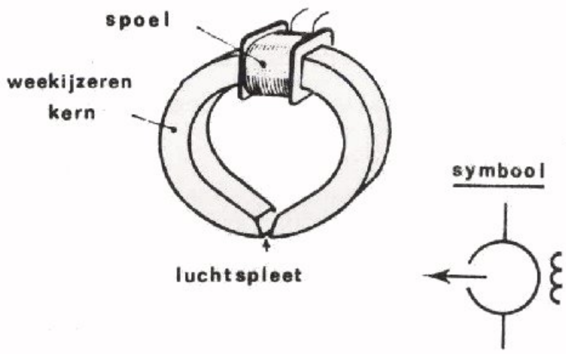
Uitslag 3: [A]

VERVOLG ELEKTRO-MAGNETISCHE WEERGEVERS.

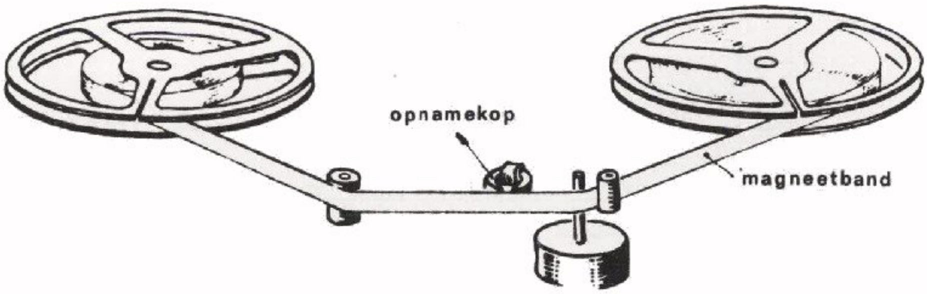
C. De opnamekop van een bandrecorder.

Met behulp van de opnamekop van een bandrecorder wordt spraak en muziek op een magneetband vastgelegd.
De *magneetband* bestaat uit een dunne strook doorzichtig plastiek met daarop een laagje zeer fijn verdeeld ijzeroxyde-poeder vermengd met een soort vernis.

De opnamekop bestaat uit een spoel van dun koperdraad die gewikkeld is op een ringvormige weekijzeren kern. De ring is niet volledig gesloten maar bevat een zeer nauwe luchtspleet van enkele microns breed. Het aldus gevormde elektro-magneetje is ingegoten in een isolerende stof.



Door de spoel stuurt men de versterkte stroom afkomstig van een microfoon, pick-up of radio. Deze stroom veroorzaakt in de luchtspleet van de weekijzeren kern een wisselend magnetisch veld dat overeenkomt met de frequentie en de sterkte van de stroom.

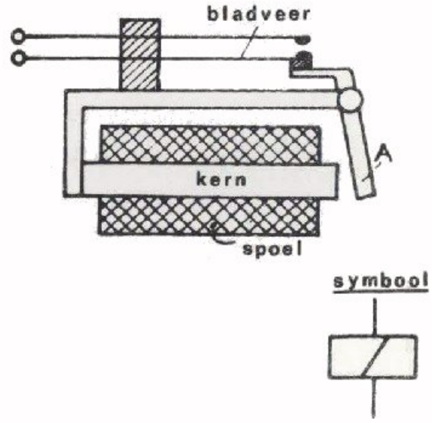


Voeren we de band met constante snelheid langs de luchtspleet dan wordt het ijzeroxyde gemagnetiseerd. Elk deeltje ijzeroxyde behoudt na het passeren van de luchtspleet grotendeels de magnetisatie die het bij de spleet verkregen heeft. Zo ontstaat op de band een aaneenschakeling van "magneetjes" van verschillende sterkte die een afspiegeling is van de geluidstrillingen die achtereenvolgens werden toegevoerd.

D. Het relais.

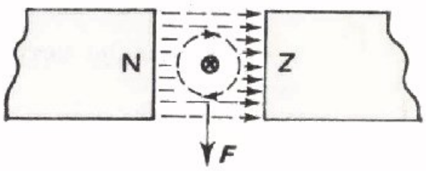
Een relais is een schakelaar die d.m.v. een elektrische stroom wordt bediend.

De stroom vloeit door een spoel die rond een weekijzeren kern is gewikkeld (zie figuur). Als de stroom voldoende groot is wordt het anker A tegen de kern getrokken. Als gevolg hiervan worden een aantal contacten gesloten (of verbroken)

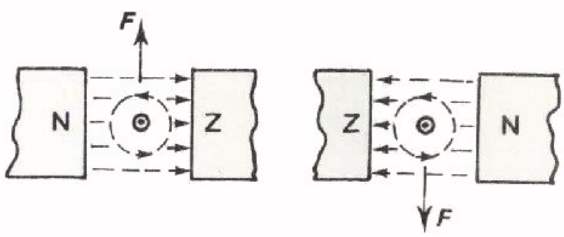


HET PRINCIPE VAN ELEKTRO-DYNAMISCHE WEERGEVERS.

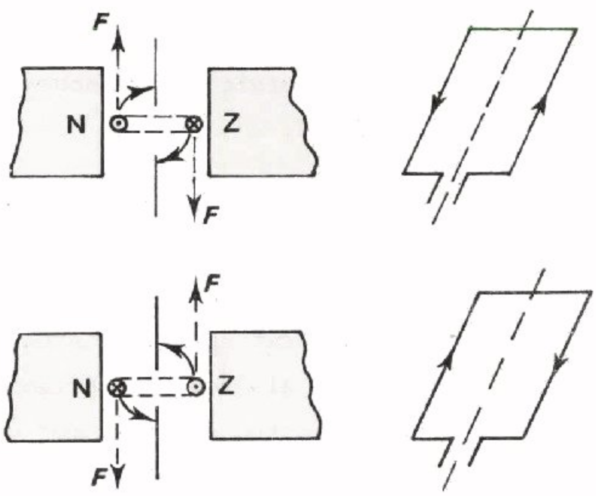
Bevindt een stroomvoerende geleider zich in een magnetisch veld dan wordt er op de geleider een kracht uitgeoefend loodrechtop het veld van de magneet en loodrecht op de richting van de stroom.



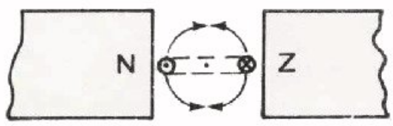
Keren we de stroom door de geleider om dan keert ook de richting van de kracht om. Dit gebeurt ook als de magneet wordt omgekeerd.



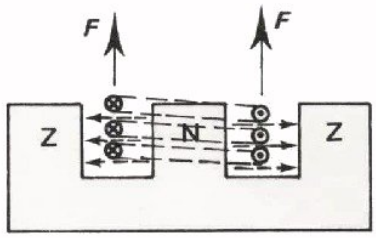
Brengen we in plaats van een rechte geleider een draaibaar opgestelde spoel van één of meer windingen in het magnetische veld, dan werken op de twee tegenover elkaar liggende spoelzijden tegengestelde krachten. De winding wil draaien.
Keren we de stroom door de winding om dan keren ook de krachten van richting om. De winding gaat in tegengestelde richting draaien.



Sturen we een *wisselstroom* door de spoel dan ontstaat er een heen-en-weer-gaande beweging.



We kunnen het spoeltje ook aanbrengen tussen de polen van een E-vormige magneet. Een wisselstroom door het spoeltje heeft nu een op-en-neer-gaande beweging tot gevolg. Het spoeltje trilt.



In bovenstaande gevallen wordt een elektrische stroom omgezet in een mechanische verplaatsing of in een trilling.

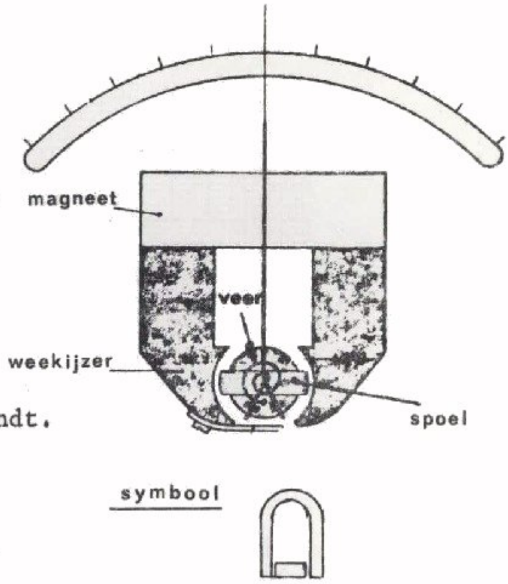
De kracht die op de geleider of op het spoeltje wordt uitgeoefend is afhankelijk van:

- de sterkte van het magnetische veld
- het aantal windingen en de afmetingen van het spoeltje
- de stroom door het spoeltje.

UITVOERINGSVORMEN VAN ELEKTRO-DYNAMISCHE WEERGEVERS.

A. De draaispoelmeter

Hiernaast is de constructie van een draaispoelmeter afgebeeld. Een rechthoekig spoeltje is draaibaar opgesteld tussen de polen van een permanente magneet. Aan het spoeltje is een wijzer bevestigd.



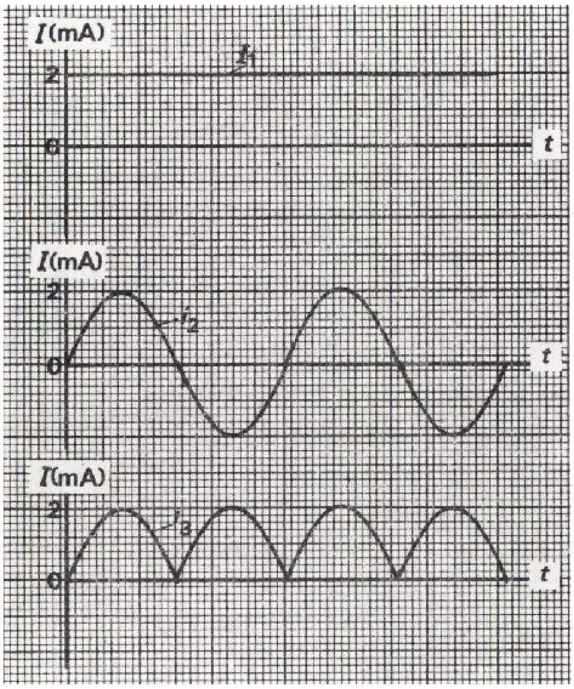
Sturen we een stroom door het spoeltje dan zal dit gaan draaien als gevolg van de kracht die het stroomvoerende spoeltje in het magnetische veld ondervindt. De spiraalveer, die op de as van het spoeltje is aangebracht, wordt strakker gespannen naarmate de wijzer verder uitslaat. Op deze manier ontstaat er een tegenkracht die ervoor zorgt dat de wijzer in de stand blijft staan die overeenkomt met de waarde van de te meten stroom.

De richting waarin het spoeltje draait is afhankelijk van de stroomrichting. Het instrument is dus polariteitgevoelig. De uitslag van de meter is evenredig met de *gemiddelde* waarde van de stroom. Een zuivere wisselstroom veroorzaakt dus géén meteruitslag. Toch worden draaispoelmeters ook vaak bij *wissel*spanningsmetingen gebruikt. In deze gevallen wordt er vóór de draaispoelmeter een gelijkrichter geschakeld.

In vergelijking met bijv. een weekijzermeter is een draaispoelmeter nogal gevoelig. Draaispoelmeters worden dan ook veelvuldig in analoge meetapparaten toegepast.

OEFENING:

De hieronder afgebeelde stromen I_1, I_2 en I_3 worden achtereenvolgens gemeten m.b.v. een draaispoelmeter.



→ Uitslag 1: [mA]

→ Uitslag 2: [mA]

→ Uitslag 3: [mA]

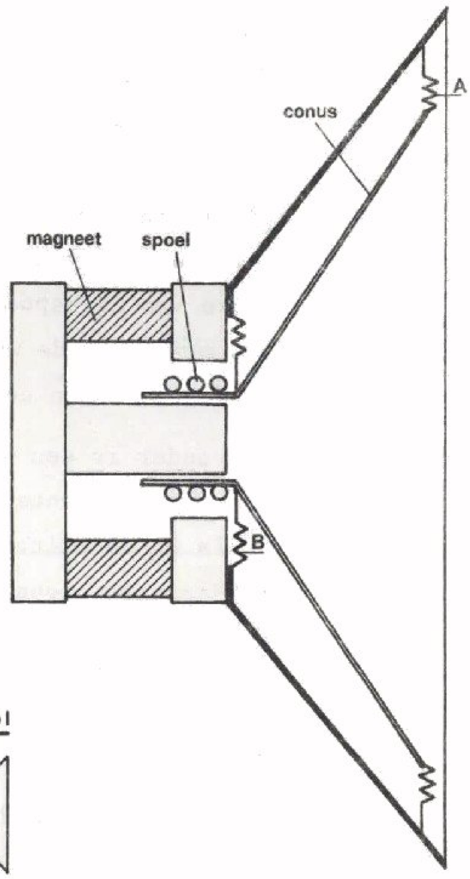
VERVOLG UITVOERINGSVORMEN ELEKTRO-DYNAMISCHE WEERGEVERS.

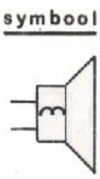
B. De Luidspreker.

Een luidspreker is een geluidsweergever. Met behulp van een luidspreker wordt elektrische informatie omgezet in evenredige luchttrillingen. Er zijn kristal-, elektromagnetische-, elektrodynamische- en condensatorluidsprekers. We zullen ons hoofdzakelijk bezighouden met de *elektrodynamische-luidspreker* omdat deze het meest voorkomt.

Nevenstaande figuur toont schematisch de constructie van een luidspreker.

In de ringvormige luchtspleet van een permanente magneet bevindt zich een spoeltje dat aan een papieren *conus* is bevestigd. Dankzij een geribbelde rand A kan de conus met het spoeltje vrij gemakkelijk heen en weer bewegen. Een andere geribbelde rand B zorgt ervoor dat het spoeltje geen verticale bewegingen kan maken waardoor het de magneet zou raken.





Vloet er een wisselstroom door het spoeltje, bijv. afkomstig van een geluidsversterker, dan werken er krachten op het spoeltje waardoor het heen en weer beweegt. De conus beweegt mee en brengt de lucht in trilling. Ons oor neemt die trillingen waar als geluid.

Voor dit soort luidsprekers is een vermogen van tenminste 50 mW nodig. Het frequentiegebied dat door deze luidsprekers kan worden weergegeven loopt maximaal van ca. 60 Hz tot 20.000 Hz. De grootte van het frequentiegebied hangt af van:

- de afmetingen van de conus.
  Voor het weergeven van geluid met lage frequenties moet de diameter van de conus groot zijn. Voor het weergeven van geluid met hoge frequenties kan men met een kleine conus volstaan.
- de afmetingen van het klankbord of de klankkast waarin de luidspreker gemonteerd is. Voor een goede geluidsweergave moet de luidsprekerkast veel inhoud hebben.

De stuurschakeling van een luidspreker.

Om uit een luidspreker geluid op "kamersterkte" te verkrijgen is bij benadering 1 á 2 W ingangsvermogen nodig. Bij praktische schakelingen wordt dit vermogen geleverd door de versterker die direct vóór de luidspreker is geschakeld. Om maximale energie-overdracht van de versterker naar de luidspreker te bereiken moet de weerstand van de luidspreker worden aangepast aan de uitgang van de versterker (of andersom). De weerstand van een elektro-dynamische luidspreker wordt in hoofdzaak bepaald door de draaddikte van het spoeltje en van het aantal windingen. Men noemt een luidspreker *laagohmig* als de weerstand ervan tussen 2 Ω en 20 Ω ligt. *Hoogohmige* luidsprekers hebben een weerstand van 400 Ω tot 800 Ω.

Hieronder is een eenvoudige luidsprekerschakeling getekend (fig.a). Het elektrisch signaal met de geluidsinformatie wordt toegevoerd tussen de basis en de emitter van de transistor. In de collectorleiding is de luidspreker opgenomen. We nemen bijv. als voedingsspanning U = 10 V. De weerstand R_B is zodanig gekozen dat de collectorstroom I_C = 1 A. Verder veronderstellen we dat de weerstand van de luidspreker 5Ω is.

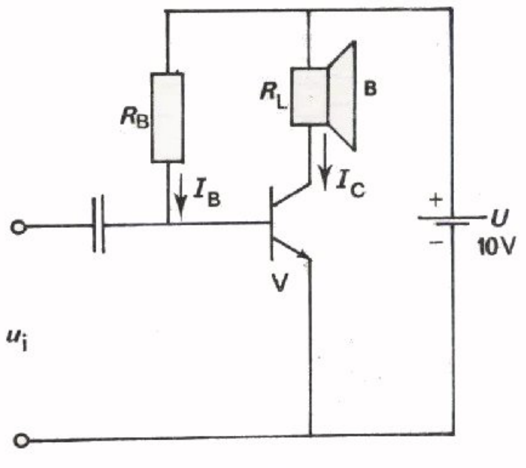


Fig. a

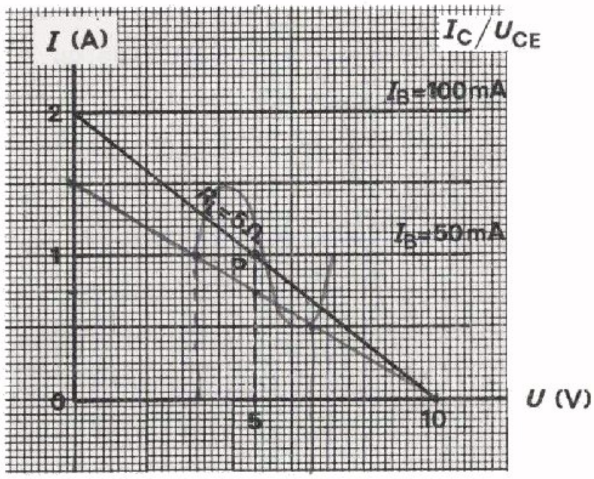


Fig. b

In fig. b zijn de uitgangskarakteristieken van de transistor afgebeeld. In deze karakteristieken is de *belastingslijn* van de luidsprekerweerstand getrokken. Punt P is het instelpunt van de transistor. Als we nu de ingang sturen met een sinusvormige stroom van I_{bt} = 50 mA, ontstaat een collectorwisselstroom I_{ct} = 1 A. De spanning over de luidspreker wordt U_{1t} = 5 V. Het vermogen in de luidspreker is dan:

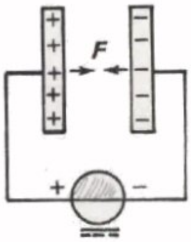
$$P_L = I_{c(eff)} \cdot U_{1(eff)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{5}{\sqrt{2}} = 2\tfrac{1}{2}\ \text{W}$$

Als we voor R_L een andere waarde kiezen of als we de transistor anders instellen, wordt het maximaal aan de luidspreker te leveren vermogen kleiner. (In de volgende oefening gaan we dit narekenen).

OEFENING:

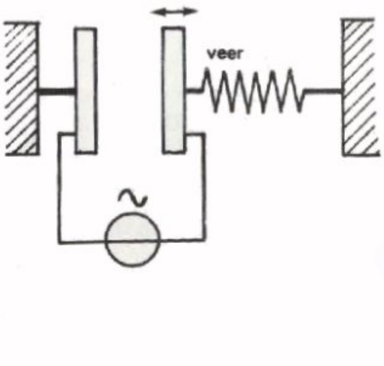
Bepaal in bevenstaande schakeling bij dezelfde gelijkstroominstelling het maximaal aan R_L te leveren vermogen als $R_L = 6\frac{2}{3}\,\Omega$. P_L = [W]

HET PRINCIPE VAN ELEKTRO-STATISCHE WEERGEVERS.



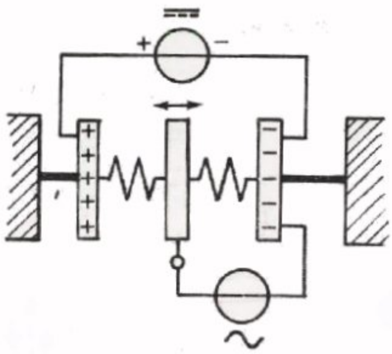
Twee plaatvormige geleiders staan op geringe afstand tegenover elkaar. Sluiten we de platen aan op een gelijkspanning dan wordt de aldus gevormde lucht-condensator geladen.

De platen oefenen nu een aantrekkende kracht op elkaar uit omdat een positieve en een negatieve lading elkaar aantrekken.



Wil men gebruik maken van deze aantrekkende kracht dan kan men één van de platen *vast* en de andere *beweegbaar* opstellen. Veranderen we de spanning op de platen dan verandert de afstand tussen de platen; hoe hoger de spanning, des te kleiner de afstand. Sluiten we een wisselspanning aan dan ontstaat er een heen-en-weer-gaande beweging van de beweegbare plaat. Bij een frequentie van 1000 Hz gaat de plaat [keer] heen en weer.

Een andere methode is om een beweegbare plaat aan te brengen tussen twee vaste platen die op een gelijkspanning aangesloten zijn. De wisselspanning is aangesloten op de beweegbare plaat en één van de vaste platen. De middenplaat wordt nu telkens door de positieve plaat afgestoten en door de negatieve plaat aangetrokken en omgekeerd. Bij een frequentie van 1000 Hz gaat de plaat [keer] heen en weer.



TOEPASSINGEN ELEKTRO-STATISCHE WEERGEVERS.

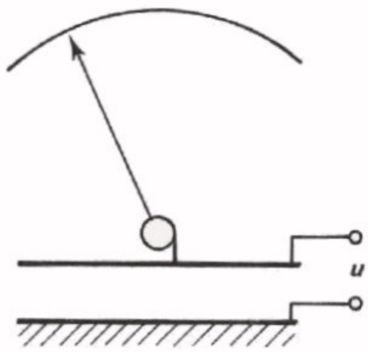
A. De elektro-statische luidspreker.

Bij een elektrostatische luidspreker wordt de conus verbonden met de beweegbare plaat van het systeem. Welk van bovenstaande schakelingen is bruikbaar ? [**vorige pagina / deze pagina**]

Waarom ? [ ]

B. De elektro-statische voltmeter.

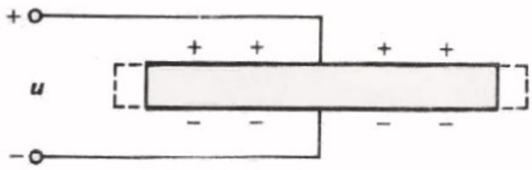
Hiernaast is het principe-schema weergegeven. Omdat onafhankelijk van de richting van de aangelegde spanning de platen elkaar altijd aantrekken, kan men met dit instrument zowel gelijkspanning dan wisselspanning meten.
De uitslag is evenredig met de *effectieve* waarde van de aangelegde spanning. Een elektro-statische voltmeter is een laboratorium-instrument.



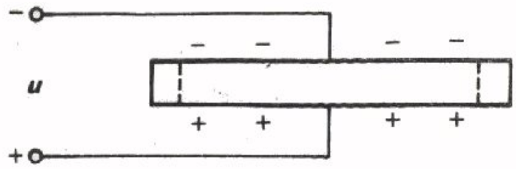
HET PRINCIPE VAN PIEZO-ELEKTRISCHE WEERGEVERS.

Legt men aan een stukje piëzo-elektrisch materiaal een elektrische spanning dan treden er vormveranderingen in het kristal op. De spanning wordt aangesloten tussen de twee geleidende lagen die aan beide zijden van het plaatje kristal zijn aangebracht. Het kristal zelf is hoogohmig.

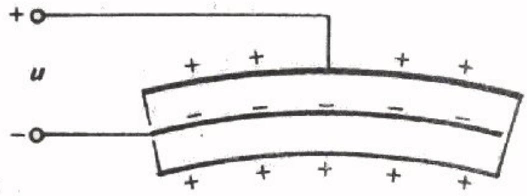
Maken we de bovenkant positief t.o.v. de onderkant dan wordt het plaatje bijv. langer.



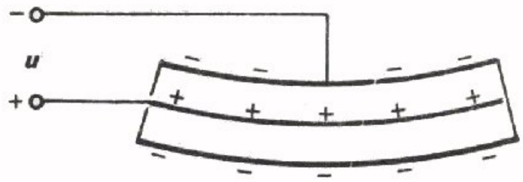
Keren we de spanning om dan wordt het kristalplaatje korter.



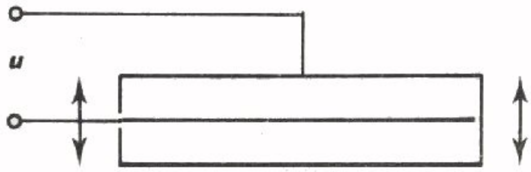
Als twee plaatjes op elkaar worden geplakt, en er wordt een spanning aangelegd zoals hiernaast is weergegeven, dan wil het bovenste plaatje langer worden en het onderste plaatje korter. Het geheel buigt zoals is aangegeven.



Keren we de spanning om, dan buigt het stelsel de andere richting in. De mate waarin het plaatje buigt, hangt af van de grootte van de aangelegde spanning.

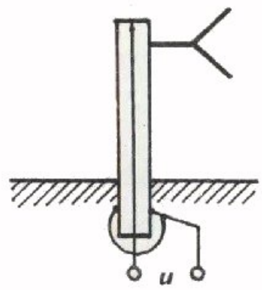


Leggen we een wisselspanning aan, dan buigt het stelsel achtereenvolgens naar boven en naar beneden. Het ritme van de beweging komt overeen met de frequentie van de aangelegde spanning.



VOORBEELD VAN EEN PIEZO-ELEKTRISCHE WEERGEVER.

De luidspreker met pïezo-elektrisch-elektrisch systeem. Bij deze luidspreker is de conus aan het ene uiteinde van het kristal bevestigd, terwijl het andere einde is vastgezet. Als een wisselspanning nu wordt aangesloten trilt het kristal en dus ook de conus. De pïezo-elektrische luidsprekers worden alleen gebruikt voor weergave van hoge tonen (boven 5000 à 10.000 Hz).

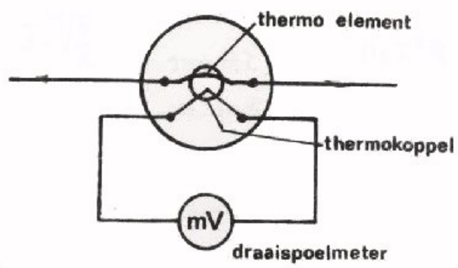


THERMISCHE WEERGEVERS

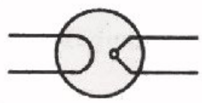
In de vorige les is werking van thermische *opnemers* aan de orde geweest. Bij dit soort opnemers wordt warmte omgezet in een elektrische spanning. Bij thermische *weergevers* wordt een elektrisch vermogen toegevoerd en warmte afgegeven. Een voorbeeld van zo'n weergever is een verwarmings-element. Een voorbeeld in de elektronika waarbij een verwarmingselement wordt gebruikt is de zogenaamde *thermokoppel-meter*.

Hiernaast is het principeschema van een thermokoppel-meter afgebeeld. Deze is samengesteld uit:

- een draaispoelmeter.
  Dit instrument hebben we op pag. 15 behandeld.
- een thermokoppel.
  hierover is in de vorige les gesproken.
- een thermo-element, bestaande uit een weerstandsdraadje.



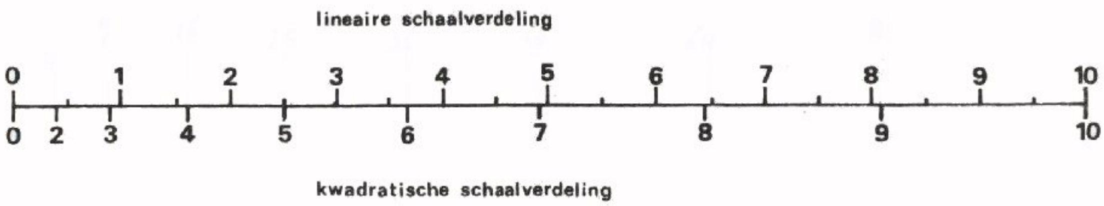
symbool



Dit element bevindt zich samen met de contactplaats van het thermokoppel, in een glasparel. Het geheel is ondergebracht in een luchtledige glazen ballon.

De werking is als volgt:
De te meten stroom wordt toegevoerd aan het thermo-element. Hier vindt omzetting plaats van elektrische energie in warmte. Deze warmte vloeit via de (elektrisch isolerende) glasparel naar het thermokoppel. Hier vindt omzetting plaats van warmte in een elektrische spanning. Deze wordt m.b.v. de draaispoelmeter weergegeven. Het thermokoppel geeft een spanning af die evenredig is met de warmte van het thermo-element. Deze warmte is weer evenredig met het kwadraat van de *effectieve* waarde van de te meten stroom ($P = I_{eff}^2 \cdot R_{thermo\text{-}element}$).

De uitslag van de meter is een maat voor de *effectieve* waarde van de te meten stroom. Het schaalkarakter is kwadratisch. Een *twee*-maal zo grote stroom veroorzaakt een *vier*-maal zo grote meter-uitslag.



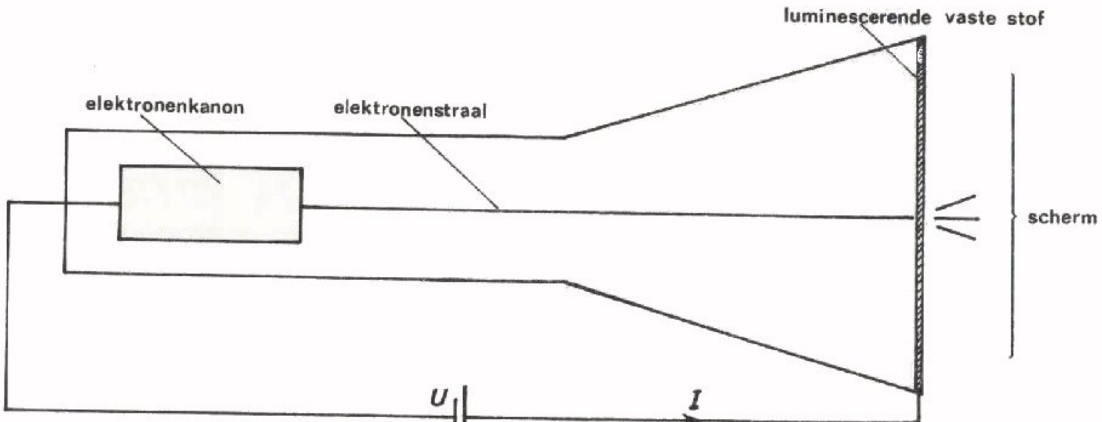
Een thermokoppel-meter wordt gebruikt voor het meten van de effectieve waarde van:

- HF-wisselstromen (tot ca. 100 MHz).
- niet sinusvormige wisselstromen.

Dergelijke metingen kunnen niet worden uitgevoerd m.b.v. de andere meetapparaten die we in deze cursus hebben behandeld.

WEERGEVERS DIE ELEKTRISCHE ENERGIE OMZETTEN IN LICHT.

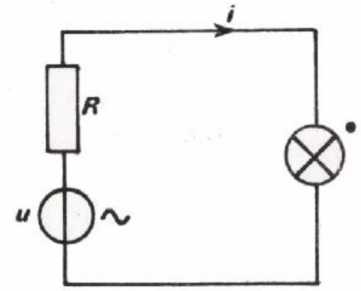
1. Als men aan een dunne geleider voldoende elektrische energie toevoert, gaat die gloeien en verspreidt licht. Toepassing: de gloeilamp.
2. Bepaalde vaste stoffen lichten op als ze door elektronen met grote snelheid worden getroffen.
   Toepassing: het scherm van een elektronenstraalbuis.



Ten gevolge van de uitwendig aangelegde spanning U worden de elektronen die uit "het kanon" worden geschoten versneld. Snelle elektronen bezitten een grote energie. Deze energie wordt overgedragen op de luminescerende stof, waarmee het scherm is bedekt. Hierdoor gaat het scherm oplichten en zal kortere of langere tijd nalichten.
De spanning U moet zeer hoog zijn (> 10.000 V); de stroom I is zeer klein (< 10 μA.)

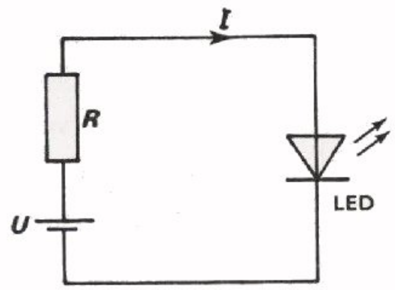
3. Bij toevoer van voldoende elektrische energie aan gasgevulde buizen lichten deze op.

Toepassing: indicatielampjes. Een dergelijk lampje wordt bijv. in een spanningszoeker gebruikt. Dit lampje licht op bij een spanning U van tenminste 60V. Bij hogere spanningen valt een gedeelte van die spanning over de weerstand R. De stroom door het lampje is klein: ca. 1 mA. Er zijn ook gasgevulde letter- en cijferindicatorbuizen.



4. Sommige halfgeleiderdioden geven licht bij voldoende stroom in doorlaatrichting.

Toepassing: Een LED(*L*icht-*E*mitterende-*D*iode) De bedrijfsspanning van een LED ligt tussen 1,5 V en 2,5 V; de stroom is 5 á 20 mA. De kleur van het uitgestraalde licht wordt bepaald door het halfgeleider materiaal. Rood en geel-groen zijn het meest gebruikelijk.



LED's komen ook voor als letter- en cijferindicators voor uitleesschakelingen.

SAMENVATTING.

- In deze les hebben we de werking van een aantal analoge weergevers en de bijbehorende schakelingen besproken. Weergeefschakelingen zijn schakelingen waarin elektrische informatie wordt omgezet in evenredige niet-elektrische informatie.

- De belangrijkste eigenschappen van weergeefschakelingen zijn:
  - de gevoeligheid
  - de snelheid
  - storende bijverschijnselen
  - de ingangsweerstand

- Weergevers van geluid.
  Als geluidsweergever hebben we een drietal luidsprekers en de telefoon besproken.
  - de *elektro-dynamische* luidspreker is de meest gebruikte.
    Het frequentiegebied van dit type luidspreker kan lopen van 60 Hz - 20.000 Hz maar hangt af van zijn afmetingen, de klankkast en een juiste aanpassing aan de versterkeruitgang. De impedantie verschilt van type tot type en ligt tussen 3 en 800Ω.
  - de *elektro-statische* en de *piëzo-elektrische* luidspreker worden alleen als hoge-tonen weergever toegepast.
  - de meest gebruikte *telefoons* werken volgens het elektro-magnetische of volgens het elektro-dynamische principe.

- Verplaatsingsweergevers.
  We hebben drie typen meetinstrumenten behandeld.
  - De *draaispoelmeter* is in de elektronika het meest gebruikte meetinstrument. Het reageert op de *gemiddelde* waarde van de toegevoerde stroom. Bij het meten van wisselstromen wordt een gelijkrichter vooraf geschakeld. Het opgenomen vermogen is gering: bijv. 10 μW.
  - De *elektro-magnetische* meter is veel ongevoeliger dan de draaispoelmeter en wordt daarom voornamelijk in de sterkstroomtechniek toegepast. De meter reageert op de *effectieve* waarde van de te meten stroom.
  - De *elektro-statische* meter is een laboratoriuminstrument. Het opgenomen vermogen is nihil. De meter reageert op de *effectieve* waarde van de aangelegde spanning.

- Thermische weergevers.

  Als voorbeeld hebben we een thermokoppel mét thermo-element behandeld; het thermo-element is de weergever. M.b.v. een thermokoppel-meter kan men de *effectieve* waarde van HF-stromen of van niet sinus-vormige stromen meten. Het opgenomen vermogen van dit type meetinstrument is 10 á 100 mW.

  Weergevers van licht.

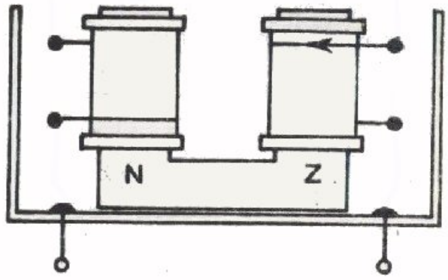
  - de *gloeilamp* neemt realtief veel energie op, het rendement is laag en de levensduur gering.
  - De *gasgevulde* lampjes hebben een lange levensduur. De benodigde spanning is hoog (vanaf 60 V).
  - De *LED* werkt bij lage spanningen (1,5 á 2,5 V); de opgenomen stroom is 5 tot 20 mA.

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN:

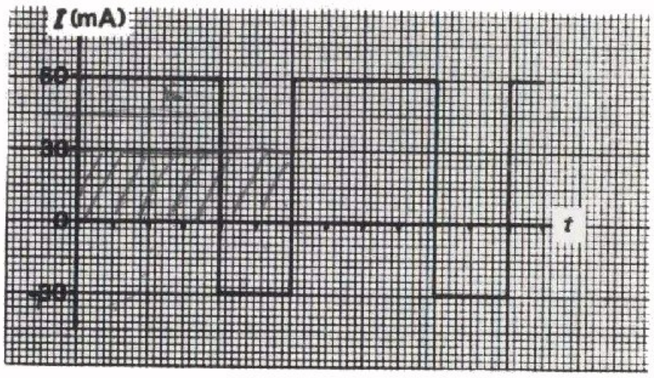
1. Bij reparatie van de schelp van een hoofdtelefoon worden de spoeltjes vernieuwd.
   - Teken in het figuur welke verbindingen U moet aanbrengen om de schelp weer correct te laten functioneren.



   - Geef in de tekening de noord- en zuidpolen van de twee spoelen aan voor het geval de stroomrichting overeenkomt met de pijlrichting.
   - Wordt bij deze stroomrichting de magneet van de kern verzwakt of versterkt ?

     Antwoord :

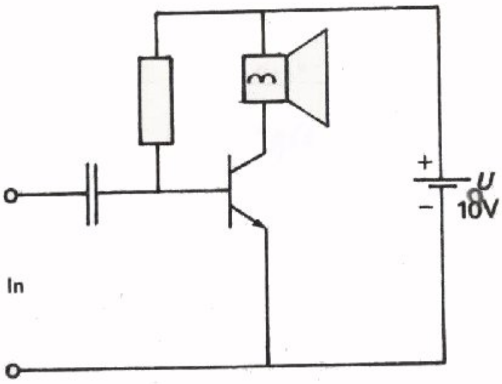
2. Door een draaispoelmeter vloeit een stroom zoals hiernaast is weergegeven.

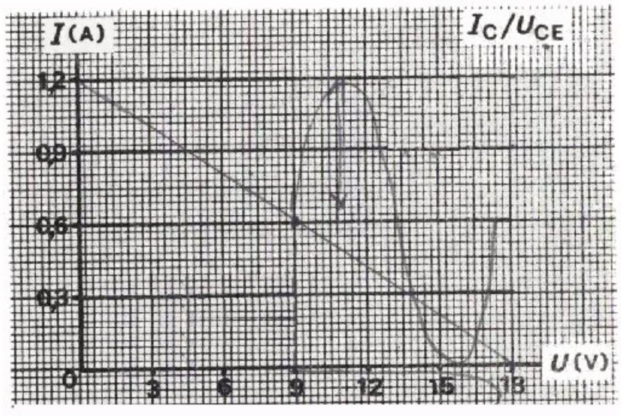


   - Hoeveel slaat de meter uit ?

     Meteruitslag: mA

3. Hieronder is de eindtrap van een geluidsversterker weergegeven. De voedingsspanning $U = 18$ V. Bovendien zijn de uitgangskarakteristieken van de toegepaste transistor afgebeeld.





De transistor is ingesteld op een gelijkstroom $I_C = 0{,}6$ A.

- Hoe groot moet men de weerstand van de luidspreker kiezen opdat de transistor het maximale wisselstroomvermogen aan de luidspreker kan leveren ?

R_L = [   ] Ω

- Hoe groot is dat maximale vermogen ?

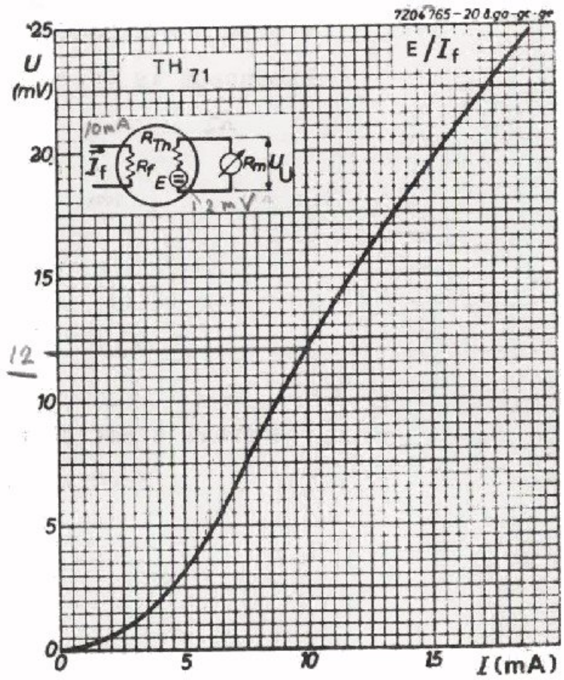
$P_{I(max)}$ = [   ] W

4. Hiernaast zijn de eigenschappen van een thermokoppel (met thermo-element) afgebeeld.

I_f is de aan het thermo-element toegevoerde stroom. E is de thermo-EMK. M is een draaispoelmeter ($R_M = 1$ kΩ)
De weerstand van het thermo-element is $R_f = 100$ Ω.
De weerstand van het thermokoppel is $R_{TH} = 5$Ω

Hoe groot is bij benadering de meter-uitslag bij $I_f = 10$ mA ?

U_U = [   ] mV



C 29

T R A N S P O R T   S C H A K E L I N G E N

INLEIDING

Bij elektronische informatieverwerking is het noodzakelijk dat elektrische informatie van de ene plaats naar een andere plaats wordt gebracht.

Voorbeelden:

- Binnen een schakeling wordt elektrische informatie van de ene component (bijv. een transistor) naar een andere component (bijv. een weerstand) doorgegeven.
- Binnen een systeem wordt de informatie van de ene schakeling (bijv. een oscillator) naar een andere schakeling (bijv. een versterker) getransporteerd.
- Ook tussen complete systemen wordt informatie uitgewisseld (bijv. tussen een radio-zender en een radio-ontvanger).

De middelen waarmee informatie-transport plaats vindt zijn zeer uiteenlopend van aard.

- Binnen een schakeling gebeurt informatie-transport meestal met gewone draadverbindingen.
- Binnen een systeem worden soms speciale kabels gebruikt om de informatie van de ene schakeling naar de andere te brengen. Bijvoorbeeld het transporteren van een microfoonsignaal naar een versterker gebeurt m.b.v. daarvoor geschikte microfoonkabel.
- Bij het overbrengen van informatie tussen systemen onderling wordt ook vaak gebruik gemaakt van kabels (denk bijv. aan telefoonverbindingen). Soms wordt draadloze verbinding toegepast (zoals bijv. bij de afstandsbediening van een T.V.).

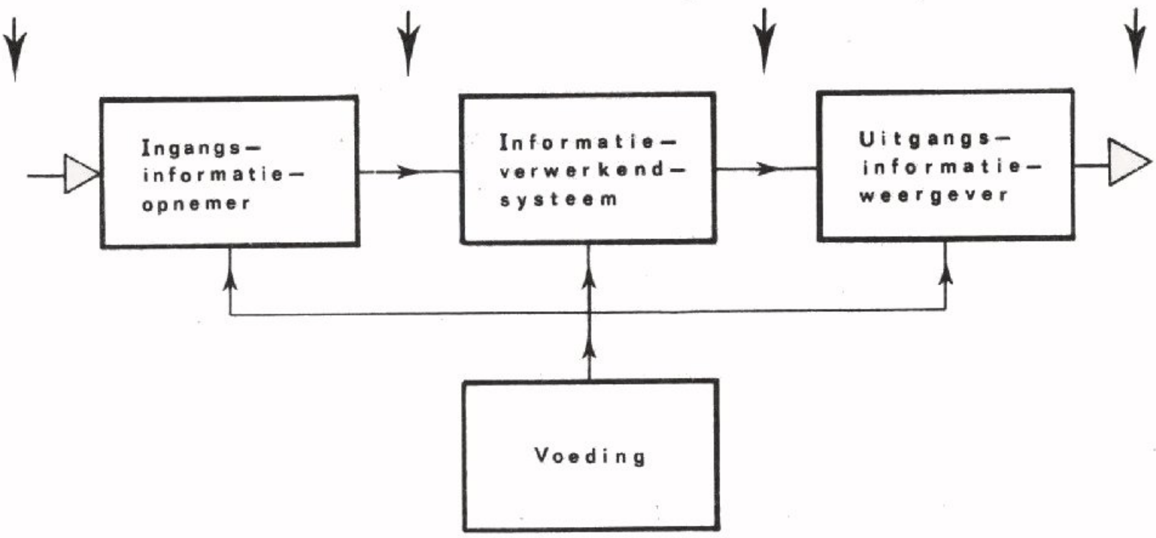
Al deze informatie-transport-middelen noemen we in deze les transport-"schakelingen".

WELKE TRANSPORT-SCHAKELINGEN GAAN WE BEHANDELEN ?

De gewone draadverbindingen laten we buiten beschouwing. Hierover is in het B-deel van deze cursus voldoende aandacht besteed (B.128). Wel komen aan de orde:

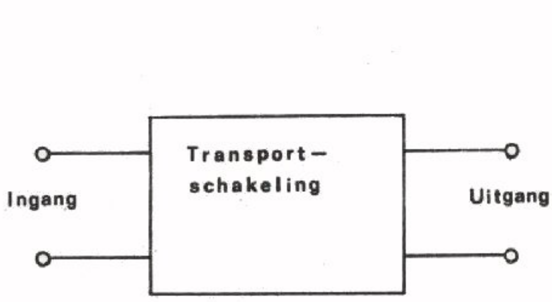
- Transport van elektrische informatie via kabels.
- Transport d.m.v. elektro-magnetische golven via de ruimte.
- Transport d.m.v. ultra-sone golven via het medium lucht.
- Transport d.m.v. licht-golven via glasvezels.

Transport-schakelingen zoals in deze les bedoeld, komen hoofdzakelijk voor tussen de schakelingen van een systeem en tussen systemen onderling.



DE FUNCTIE INFORMATIE-TRANSPORT.

Een transport-schakeling stellen we voor door een blok met een ingang en een uitgang.
Aan de ingang wordt het te transporteren signaal toegevoerd; aan de uitgang komt het getransporteerde signaal beschikbaar.



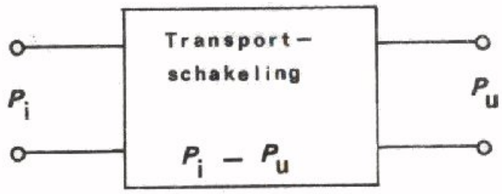
Een *ideale* transport-schakeling zou de volgende eigenschappen hebben:

- het transport gebeurt in een oneindig korte tijd.
- er treedt tijdens het transport geen energie-verlies op.
- de getransporteerde informatie heeft dezelfde vorm als het oorspronkelijke signaal.
- tijdens het transport worden er geen stoorsignalen toegevoegd.

Bij *praktische* transport-schakelingen worden deze eigenschappen zo dicht mogelijk benaderd.

HET ENERGIE-VERLIES IN EEN TRANSPORT-SCHAKELING.

In een transport-schakeling gaat altijd een deel van de toegevoerde energie verloren. Het vermogen van het uitgangssignaal (P_u) is dus kleiner dan het vermogen van de ingangsinformatie (P_i).



De mate van energie-verlies in een transport-schakeling wordt weergegeven in aantallen dB's. Men gaat te werk zoals we bij *vermogensverzwakking* C9.5 hebben geleerd.

Voorbeelden:

$\frac{P_i}{P_u} = 10 = 10^1$; dit komt overeen met een verzwakking van 1 B = 10 dB.

$\frac{P_i}{P_u} = 1000 = 10^3$; dit komt overeen met een verzwakking van 3 B = 30 dB.

De verhouding $\frac{P_i}{P_u}$ noemt men de *demping* van een transportschakeling.

OEFENING:

De demping van een transportschakeling is -20 dB.
Hoe groot is $\frac{P_i}{P_u}$?

$\frac{P_i}{P_u}$ = [ ]

Als 1 W aan de schakeling wordt toegevoerd, hoeveel vermogen blijft er dan in de schakeling achter ?

P (schakeling) = [ ] mW

TRANSPORT VIA KABELS.

Voor het transporteren van elektrische informatie over midden-lange en korte afstanden (vanaf een paar meter tot enige tientallen km) wordt vaak gebruik gemaakt van kabels.

Twee soorten kabels worden hierbij veelvuldig toegepast:
- parallelkabel. (fig.a)
- coaxiaalkabel. (fig.b)

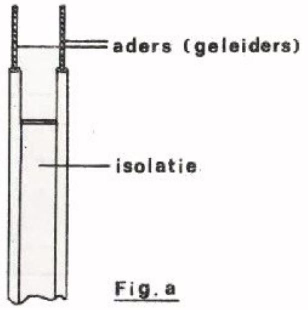


Fig. a

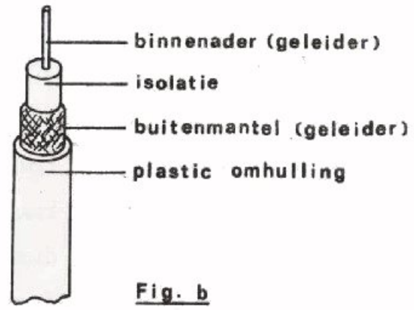


Fig. b

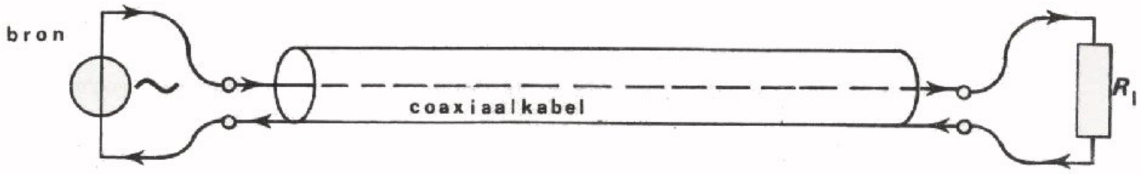
Parallelkabel bestaat uit twee gelijke parallel aan elkaar lopende aders van van koperdraad die op hun plaats worden gehouden d.m.v. isolatiemateriaal (polyethyleen).

Coaxiaalkabel bestaat uit een geleidende binnenader en een geleidende buitenmantel. Binnenader en buitenmantel worden op hun plaats gehouden d.m.v. isolatie. Om het geheel is meestal een plastic omhulling aangebracht.

Bij parallelkabel vloeit de stroom vanaf de bron via de ene ader, de belasting R_1 en de andere ader terug naar de bron.



Bij coaxiaalkabel vloeit de stroom vanaf de bron via de binnenader, de belasting R_1 en de buitenmantel terug naar de bron. De buitenmantel ligt meestal aan "aarde".



Voordelen van *coaxiaalkabels* t.o.v. parallelkabels.

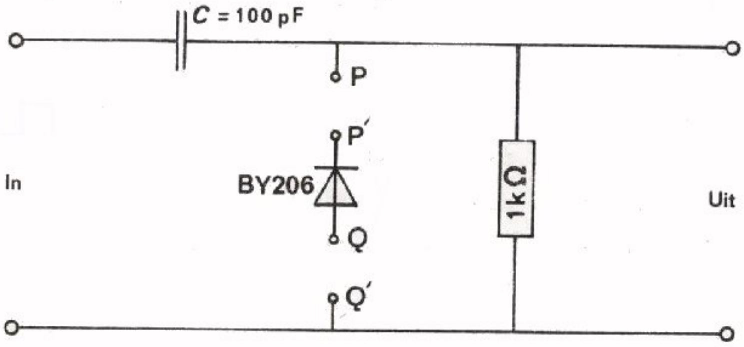
- Bij een stroomvoerende coaxiaalkabel bevindt het opgewekte magnetische en elektrische veld zich uitsluitend tussen de binnenader en de buitenmantel. Een coaxiaalkabel straalt dus niet naar buiten.
- Omgekeerd hebben van buiten komende stoorvelden geen invloed op het signaal dat door de coaxiaalkabel wordt getransporteerd.

Voordelen van *parallelkabels* t.o.v. coaxiaalkabels.

- parallelkabels zijn goedkoper.
- parallelkabels zijn symmetrisch opgebouwd.
  schakeltechnisch is dit soms aantrekkelijk.

OPDRACHT I: HET VERKRIJGEN VAN SMALLE IMPULSEN.

In het verloop van deze les gaan we door metingen de eigenschappen van kabels bepalen. Voor deze metingen hebben we zeer smalle impulsen nodig, die óf positief óf negatief zijn. Met behulp van de volgende schakeling worden de gewenste impulsen verkregen.



- Bouw deze schakeling op Uw paneel. Gebruik hiervoor de linkerzijde van het paneel zodat er op de rechterzijde nog andere schakelingen kunnen worden gemonteerd.

- Laat de punten P - P' en Q - Q' open.

- Leg aan de ingang een kanteelvormige spanning met een top-top-waarde van tenminste 10 V; frequentie 50 kHz.

- Maak de uitgangsspanning zichtbaar op een oscilloscoop. De schakeling gedraagt zich als:

O een differentiator
O een integrator
O een clipschakeling
O een clampschakeling

- Verbindt de punten P - P' en Q - Q' door.

- Bestudeer op de oscilloscoop wat de diode BY 206 doet.

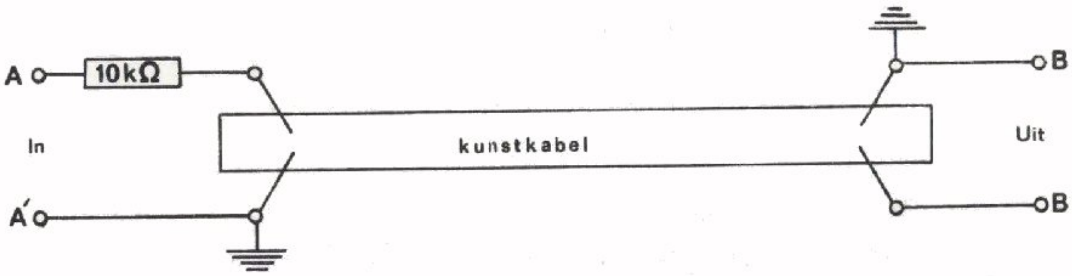
- Leg tussen Q - Q' een gelijkspanning van ca. 1V; maak punt Q positief t.o.v. Q'. Stel deze spanning zodanig in dat uitsluitend *positieve* impulsen met *maximale* amplitude ontstaan. Deze impulsen hebben we nodig voor de volgende opdracht.

- Regel de tijdbasis van de oscilloscoop zodanig dat slechts *twee* impulsen zichtbaar blijven.

OPDRACHT 2: HET METEN AAN EEN "KUNST-KABEL".

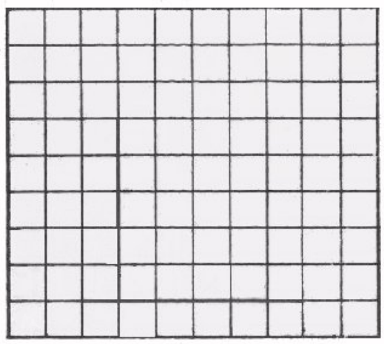
Om de verschijnselen bij kabeltransport goed te kunnen waarnemen zouden we een kabel van tenminste 100 meter lengte nodig hebben . Het is vrij lastig om binnen een prakticumlokaal aan dergelijke omvangrijke kabels metingen te verrichten. De metingen van deze opdracht worden dan ook aan een veel kortere, een zogenaamde "*kunst*"-kabel verricht. De verschijnselen die hierin optreden komen nagenoeg overeen met die in een echte kabel.

- Monteer de ingang van de volgende schakeling achter de uitgang van de impulsvormer van blad 6.
  Er worden nu smalle impulsen aan de kunstkabel toegevoerd.



- Plaats de ene Y-ingang van een dubbelstraaloscilloscoop tussen de punten A - A' en de andere Y-ingang tussen de punten B - B' (Let op de "aardzijden" van de kabel). Maak de gevoeligheid van de Y-kanalen even groot.

Schets hiernaast het verloop van de ingangsspanning (bovenkant scherm) en van de resulterende uitgangsspanning (onderkant scherm).



Conclusie:

Bij elke impuls op de ingang ontstaan vele impulsen op de uitgang.

De achtereenvolgende impulsen op de uitgang hebben kleinere amplituden.

- Schakel op de uitgang van de kabel een weerstand van 1 kΩ.
  Bestudeer achtereenvolgens de in- en uitgangsspanning van de schakeling.

Conclusie:

De uitgangsspanning komt nu in grote trekken **wel / niet** overeen met de ingangsspanning.

- Breek de schakeling nog niet af.

TOELICHTING OP DE METINGEN VAN BLAD 7.

Als we een impuls aan de ingang van een kabel toevoeren dan beweegt deze zich met grote snelheid naar het einde van de kabel (fig.a) Ten gevolge van een *open* uitgang ($R_1 = \infty$) wordt de impuls gereflecteerd (fig. b)

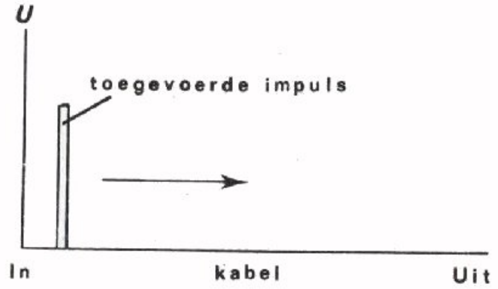


Fig. a

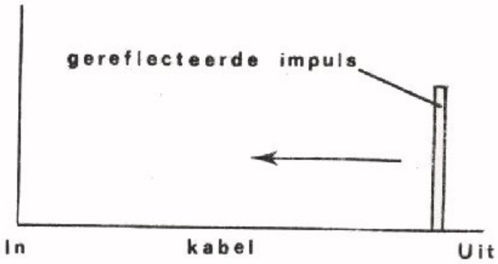


Fig. b

Dit verschijnsel van de heen- en weergaande impuls kan men vergelijken met het volgende voorbeeld.

Veronderstel dat een locomotief tegen een stilstaande trein botst. Eerst worden de bumpers van de eerste wagon ingedrukt; tijdens dit indrukken verkrijgt deze wagon de snelheid van de locomotief. De bumpers van de tweede wagon worden dan ingedrukt waardoor ook deze wagon gaat bewegen, enz. De toestand van bewegende wagons plant zich voort van *voor* naar *achter*. Staat nu de laatste wagon tegen een stootblok dan wordt deze wagon in zijn beweging afgeremd. Hierbij worden zijn bumpers extra sterk ingedrukt. Tijdens het ontspannen hiervan wordt de voorlaatste wagon in tegengestelde richting in beweging gebracht, enz. De toestand van bewegende wagons plant zich nu voort van *achter* naar *voor*.

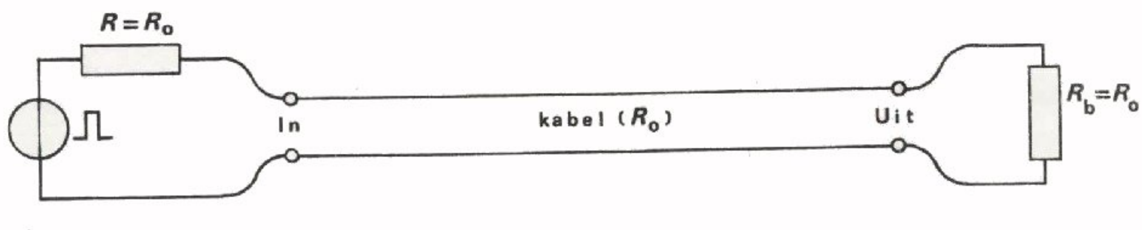
Op overeenkomstige wijze treedt er bij een kabel met open uitgang een reflectie op. De gereflecteerde impuls plant zich voort naar de ingang van de kabel. Bij ons meetobject op blad 7 was de ingang van de kabel afgesloten met een weerstand van 10 kΩ (een betrekkelijk hoge weerstand). De ingang van de kabel is dus ook "bijna" open Daardoor treedt ook hier reflectie op. De aan de kabel toegevoerde impuls loopt dus heen en weer over de kabel. De amplitude wordt telkens kleiner omdat er in de kabel spanningsverliezen optreden. Op de uitgang van de kabel zien we dan ook een reeks van impulsen met afnemende amplituden.

Sluiten we de *uitgang* van de kabel van opdracht 2 af met een weerstand van 1 kΩ, dan treden er geen reflecties op. De getransporteerde impuls blijkt (op de amplitude na) overeen te komen met de toegevoerde impuls.

Voor een reflectievrij transport moet een kabel worden afgesloten met een weerstand waarvan de waarde overeenkomt met de zogenaamde *karakteristieke weerstand* van de kabel. We noemen deze weerstand R_o. De R_o van de kunstkabel waaraan we hebben gemeten is 1 kΩ. In het vervolg van deze les zullen we nagaan welk verband er bestaat tussen de mechanische afmetingen en bepaalde eigenschappen van het isolatiemateriaal van een kabel en de waarde van R_o.

OOK DE INGANG VAN EEN KABEL AFSLUITEN MET R_o.

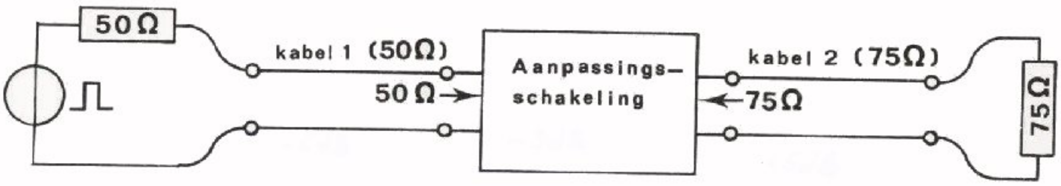
We hebben gezien dat we reflecties kunnen voorkomen door de kabel aan de *uitgang* af te sluiten met een weerstand waarvan de waarde overeenkomt met R_o. Op het vorige blad is uitgelegd hoe een aan de uitgang van de kabel gereflecteerd signaal bij de ingang nogmaals gereflecteerd wordt. Daarom worden kabels ook aan de *ingang* afgesloten met R_o(zie figuur). Hiermee bereikt men dat een reflectie, ontstaan bij een onjuiste afsluiting aan de uitgang van de kabel, aan de ingang alsnog geheel wordt onderdrukt. Bij de volgende meetopdracht zullen we dit aantonen.



AANPASSING VAN VERSCHILLENDE KABELS.

Twee kabels met verschillende karakteristieke weerstanden mag men niet zonder meer doorverbinden. Dit kan men als volgt inzien:

Veronderstel dat de voorste kabel een karakteristieke weerstand heeft van 50Ω en dat die van de achterste kabel 75Ω is. In dit geval is de uitgang van de voorste kabel afgesloten met 75Ω i.p.v. met 50Ω, en de ingang van de achterste kabel met 50Ω i.p.v. met 75Ω. Er is een foutieve aanpassing tussen de kabels die weer aanleiding geeft tot reflecties. Dit euvel kan men verhelpen d m.v. een aanpassingschakeling, bijv. een aanpassingstransformator. Deze wordt *tussen* de kabels aangesloten (zie figuur). Bij ons getallen voorbeeld moet de ingangsweerstand van de aanpassing 50Ω zijn en tevens moet de uitgangsweerstand 75Ω bedragen. Kabel 1 is nu voor en achter op de juiste wijze afgesloten met 50Ω. Kabel 2 is aan weerskanten correct afgesloten met 75Ω.



OEFENING:

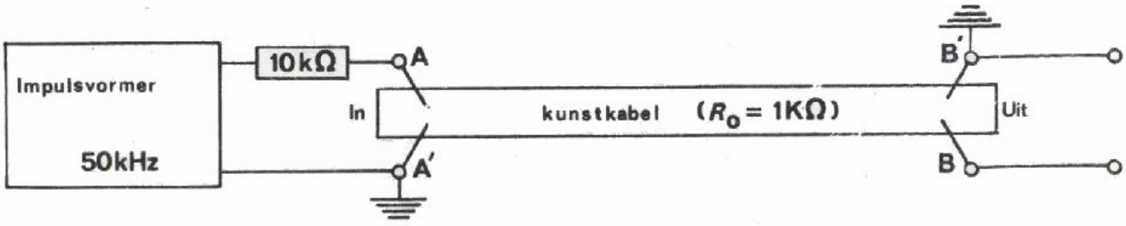
In een aanpassingsschakeling zoals hierboven bedoeld gaat altijd wat energie verloren. Veronderstel dat de vermogens verzwakking van bovenstaande aanpassing - 3 dB is. Stel verder dat de demping van kabel 1 -6 dB is en die van de kabel 2 -5 dB.

Hoeveel dB is dan de totale vermogensverzwakking ?

V_p = [dB]

OPDRACHT 3: VERDERE METINGEN AAN EEN KUNSTKABEL.

We gaan verder met metingen aan de schakeling die reeds op Uw paneel is gemonteerd.

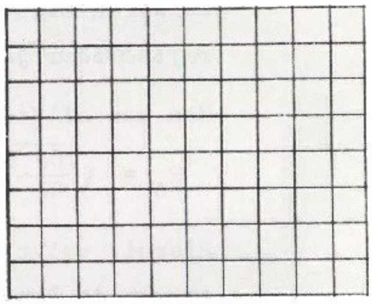


- Controleer m.b.v. een oscilloscoop of de impulsvormer nog smalle impulsen van ca. 50 kHz levert. Stel de tijdbasis van de oscilloscoop zodanig in dat slechts *twee* achtereenvolgende impulsen zichtbaar blijven.

- Plaats de ene ingang van de dubbelstraaloscilloscoop tussen de ingang van de kabel (A - A') en de andere Y-ingang tussen de uitgang van de kabel (B - B') Maak de gevoeligheid van de Y-kanalen even groot.

- Schets hiernaast het verloop van de ingangsspanning (bovenkant scherm) en van de uitgangsspanning van de kabel (onderkant scherm).

  Aan beide zijden wordt het signaal [wel / niet] gereflecteerd.

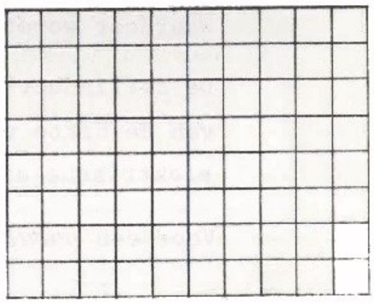


- Sluit de *ingang* van de kabel af met R_o (vervang 10 kΩ door 1 kΩ)

  Schets opnieuw de in- en uitgangsspanning van de kabel.

  De ingang reflecteert [wel / niet]

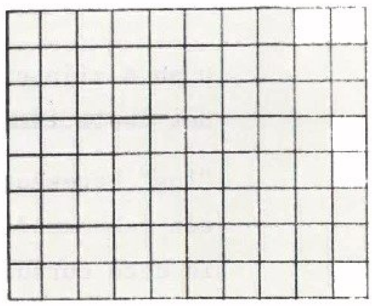
  De uitgang reflecteert [wel / niet]



- Sluit nu ook de *uitgang* af met R_o. (uitgang belasten met 1 kΩ)

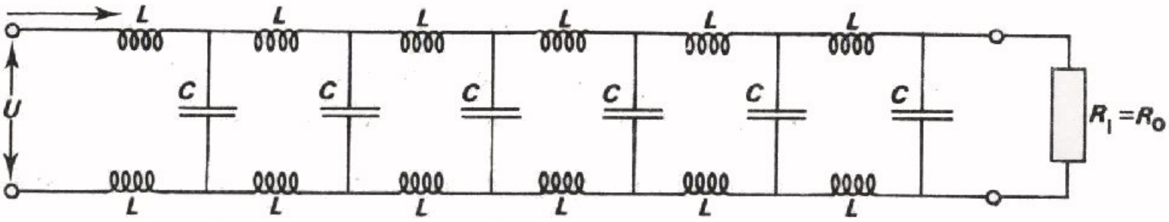
  Teken ook nu de spanning tussen A - A' en B - B'

  Aan beide zijden van de kabel wordt het signaal [wel / niet] gereflecteerd.



DE KARAKTERISTIEKE WEERSTAND VAN EEN KABEL.

Hieronder is een vervangingsschema van een verliesvrije kabel afgebeeld. (Met verliesvrij bedoelen we hier: een kabel zonder energieverlies, dus zonder ohmse weerstand). In dit schema is de zelfinductie van de geleiders weergegeven met de spoeltjes L. De capaciteit tussen de geleiders is aangegeven met de condensators C.
De spanning u is de aangelegde spanning; de stroom i de resulterende ingangsstroom. R_1 is de afsluitweerstand waarvan de waarde overeenkomt met de karakteristieke weerstand R_o van de kabel.



Wat bedoelt men met de karakteristieke weerstand ?

De karakteristieke weerstand van een kabel is de *ingangsweerstand* van een *reflectievrije* kabel. De R_o van een kabel is dus gelijk aan u/i.

Men kan afleiden dat:

$$R_o = \sqrt{\frac{\text{De totale zelfinductie per meter kabellengte}}{\text{De totale capaciteit per meter kabellengte}}}$$

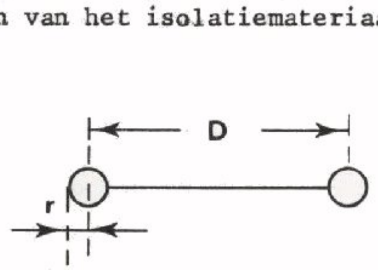
Hieruit volgt dat de karakteristieke weerstand van een kabel *onafhankelijk* is van de lengte van de kabel.

Waardoor wordt R_o dan wel bepaald ?

De zelfinductie en de capaciteit van een meter kabel zijn afhankelijk van de dikte van de geleiders, de afstand tussen de geleiders en de elektrische en magnetische eigenschappen van het isolatiemateriaal.

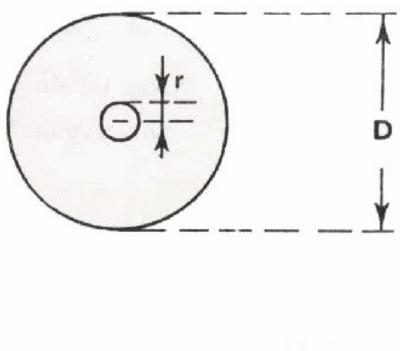
Voor een *parallel*kabel geldt:

$$R_o = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \cdot \log(\frac{D}{r}) \simeq 300 \log(\frac{D}{r})$$



μ en ε zijn eigenschappen van het isolatiemateriaal.

"log" betekent logarithme. Dit is een rekenkundige bewerking die we in deze cursus niet hebben geleerd.



Voor een *coaxiaal*kabel geldt":

$$R_o = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \cdot \log(\frac{D}{r}) \simeq 150 \log(\frac{D}{r})$$

Voor beide soorten kabels geldt dus dat R_o groter is naarmate D groter en r kleiner is.

Veel voorkomende R_o-waarden van praktische kabels zijn:
50 Ω, 60 Ω, 75 Ω, 300 Ω, 600 Ω. De waarde van R_o staat meestal op de kabel zelf aangegeven.

DE VOORTPLANTINGSSNELHEID IN EEN KABEL.

Er is tijd nodig om elektrische informatie via een kabel te transporteren. Aan de hand van het vervangingsschema van pagina 12 kan men berekenen dat de voorplantingssnelheid van de informatie gelijk is aan:

$$v = \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1}}$$

Hierin is:

L_1 = de zelfinductie per meter kabellengte.

C_1 = de capaciteit per meter kabellengte.

We zien dat de snelheid kleiner is naarmate de zelfinductie en capaciteit per meter kabel groter is.
Dit is ook te begrijpen als men aan het volgende denkt:

- Het vergt enige tijd om *stroom* door een *spoel* te krijgen. Deze tijd is langer naarmate de zelfinductie van de spoel groter is. De snelheid in een kabel is dus kleiner naarmate de zelfinductie van de geleiders groter is.
- Het vergt ook enige tijd om *spanning* op een *condensator* te krijgen. Deze tijd is langer naarmate de capaciteit van de condensator groter is. De snelheid in een kabel is dus kleiner naarmate de capaciteit tussen de geleiders groter is.

Als we L_1 en C_1 uitdrukken in kabeleigenschappen, dan blijkt de snelheid in zowel parallel- als coaxiaalkabel gelijk te zijn aan :

$$v = \frac{\text{lichtsnelheid}}{\sqrt{\mu_r \cdot \varepsilon_r}}$$

Hierin is:

μ_r = de permeabiliteit van het isolatiemateriaal

ε_r = de permittiviteit van het isolatiemateriaal.

Bij praktische kabels is $\mu_{rr} \simeq 1$ en $\varepsilon_r \simeq 2$. De voortplantingssnelheid in een kabel benadert dus de lichtsnelheid. Voorkomende waarden: v(kabel) = 200.000 á 250.000 km/s.

OEFENINGEN:

Voor het transporteren van elektrische informatie gebruikt men een kabel van 500 meter lengte. De R_o van de kabel is 600Ω. De voortplantingssnelheid is 250.000 km/s.

- Teken hieronder het schema van de transportschakeling. Geef de plaats en de waarden van de afsluitweerstanden aan.
  U mag aannemen dat de uitgangsweerstand van de informatiebron te verwaarlozen klein is.

- Als de effectieve waarde van het te transporteren signaal 1 V is, hoeveel spanning staat er dan aan de ingang en aan de uitgang van de kabel (veronderstel dat deze verliesvrij is).

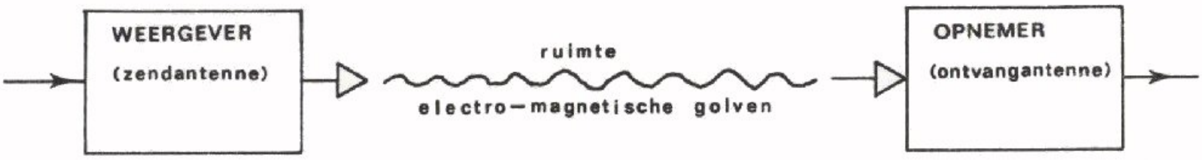
  $U_{i(eff)}$ = [V] $U_{u(eff)}$ = [V]

- Hoe lang duurt het informatietransport ? t = [μs]

TRANSPORT DOOR MIDDEL VAN ELEKTRO-MAGNETISCHE GOLVEN.

Voor het transporteren aan elektrische informatie over grote afstanden of in moeilijke toegankelijk gebieden wordt vaak gebruik gemaakt van elektro-magnetische golven. Bij het uitwisselen van informatie tussen bijv. ruimtevaartuigen, planeten en de aarde is dit soort informatie-transport zelfs het enige mogelijk.

Bij dit transportsysteem wordt de te transporteren elektrische informatie aan de zendzijde omgezet in elektro-magnetische golven. De voortplanting van deze golven geschiedt via de ruimte (de ether). Aan de ontvangzijde wordt de elektrische informatie weer omgezet in evenredige elektrische spanningen.



Het omzetten van elektrische informatie in evenredige elektro-magnetische golven gebeurt m.b.v. een zendantenne. Het medium is de ruimte rondom de aarde (ook het luchtledige gedeelte). Een eigenschap van elektro-magnetische golven is dat deze zich voortplanten in een luchtledige ruimte. Het omzetten van elektro-magnetische golven in evenredige elektrische spanningen vindt plaats m.b.v. een ontvangantenne.

Eigenschappen van dit soort informatietransport.

- Elektro-magnetische golven planten zich in principe rechtlijnig voort. Ten gevolge van obstakels kunnen de golven worden afgebogen of gereflecteerd. De voortplantingssnelheid van elektro-magnetische golven is 300.000 km/s.
- het energieverlies van dit transportsysteem is betrekkelijk groot. Van de tientallen kilo-watts die aan de zendzijde worden toegevoerd, blijven op bijv. 100km afstand slechts enige micro-watts over. Veel energie vergt het omzetten van elektrische informatie in elektro-magnetische golven en omgekeerd. Ook tijdens het transport zelf gaat energie verloren in het oppervlak van de aarde en in de ruimte.
- Tijdens het transport worden bij de gewenste informatie stoorsignalen toegevoegd. De belangrijkste storing is de zogenaamde atmosferische ruis.
- Vervorming van de informatie kan ontstaan doordat bijv. in de buurt van de ontvangantenne hoge gebouwen staan. In dat geval bestaat de mogelijkheid dat behalve het direct ontvangen signaal ook nog een later aankomend, via een groot object gereflecteerd signaal wordt ontvangen.

OEFENING:

De afstand tussen zender en ontvanger is 60 km. Aan de zendantenne wordt 100 kW toegevoerd; in de ontvangantenne ontstaat 100 µW.

- Na hoeveel tijd wordt het zendersignaal ontvangen ?

t = [µs]

- Hoeveel dB is het energie-verlies ?

V_p = [dB]

ZENDANTENNES

Er zijn vele soorten zendantennen van de meest uiteenlopende vorm. In deze les wordt slechts één type besproken.

Een zendantenne zet elektrische signalen om in evenredige elektro-magnetische golven. Aan de hand van de volgende figuren zullen we globaal uitleggen hoe dit omzetten in zijn werk gaat. In fig.a. is een veel toegepaste zogenaamde *dipool*-antenne getekend. Deze bestaat uit twee gelijke in elkaars verlengde liggende geleidende staven waartussen het zendersignaal u_i wordt toegevoerd.

In fig.b. is het vervangingsschema van de antenne weergegeven. De staven hebben een zelfinductie L; tussen de staven heerst een capaciteit C. De antenne gedraagt zich als een trillingskring.

Ten gevolge van het zendersignaal u_i ontstaat er afwisselend een elektrisch veld in C en een magnetisch veld in L. Dit elektro-magnetische veld wordt naar buiten uitgestraald.

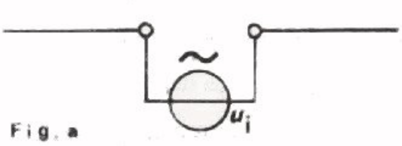


Fig. a

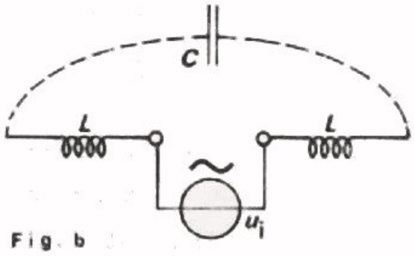


Fig. b

Dipoolantennen met een totale lengte van ½λ komen veelvuldig voor; λ is de *golflengte* van het zendersignaal.

$$\lambda(\text{in meters}) = \frac{\text{Voortplantingssnelheid (300.000 km/s)}}{\text{Frequentie van het zendersignaal}}$$

Een ½λ-antenne voor een zender op 100 MHz heeft een lengte van l = [m]

DE STRALINGSWEERSTAND

Het vermogen dat uit een antenne wordt gestraald moet worden geleverd door de schakeling die aan de antenne voorafgaat. Het uitgestraalde vermogen kan men als volgt berekenen:

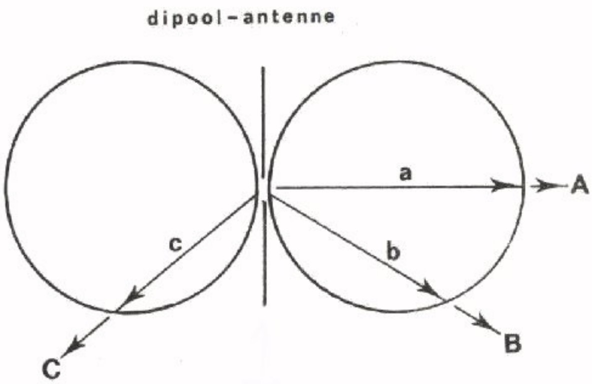
$$P_{\text{straling}} = \frac{U_{i\,(\text{eff})}^{2}}{R_s}$$

u_i is de aan de antenne toegevoerde spanning. R_s is de *stralingsweerstand* van de antenne. Deze wordt bepaald door de vorm van de antenne. Een dipoolantenne volgens bovenstaande tekening heeft een R_s van ongeveer 60Ω.

HET STRALINGSDIAGRAM.

Over het algemeen zendt een antenne niet in alle richtingen een even sterk signaal uit. Met behulp van een *stralingsdiagram* wordt dit aangegeven.

Hiernaast is het stralingsdiagram van een dipoolantenne getekend. Het stralingsvermogen in richting A is evenredig met de lengte van pijl a; in richting B evenredig met de lengte van pijl b; in richting C evenredig met de lengte van pijl c, enz.
In de richting van de antennestaven is de straling van deze antenne dus [minimaal/maximaal]



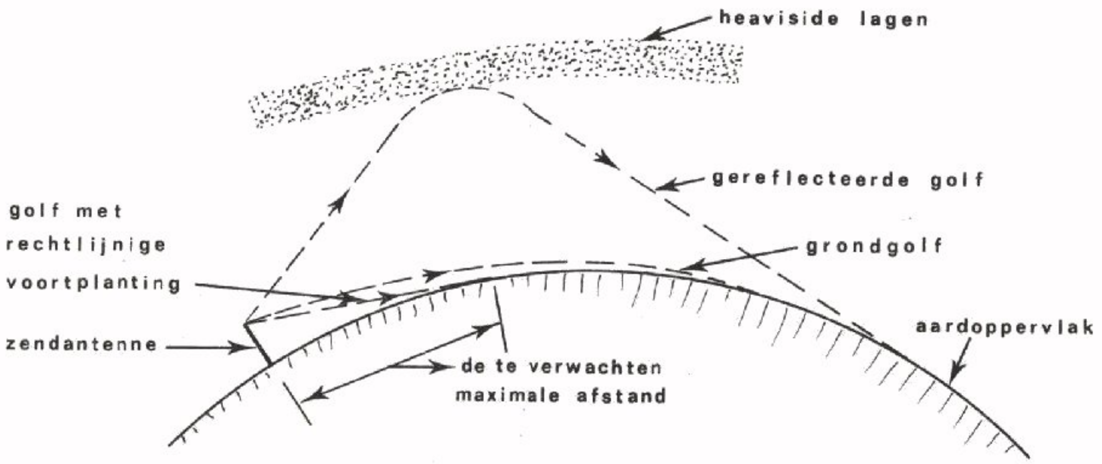
HET ELEKTRO-MAGNETISCHE VELD.

De golven die door een zendantenne worden uitgestraald zijn opgebouwd uit afwisselend elektrische velden en magnetische velden. Deze golven planten zich in principe *rechtlijnig* voort; de voortplantingssnelheid is 300.000 km/s.

Bij de voortplanting van elektro-magnetische golven treden de volgende bijzonderheden op: (zie figuur).

- de golven die langs het aardoppervlak lopen worden enigszins met dat aardoppervlak meegebogen.
- de golven die in de ruimte terecht komen worden door ionenlagen die zich op 50 - 100 km boven de aarde bevinden gereflecteerd. Deze ionenlagen, die tegevolge van zonnestraling ontstaan, noemt men (naar de ontdekkers ervan) Kennely-Heaviside lagen.

Door deze verschijnselen is de afstand die met elektro-magnetische golven kan worden overbrugd, veel groter dan men zou verwachten. (De te verwachten afstand op grond van een rechtlijnige voortplanting is in onderstaande tekening ook weergegeven).



Zowel in het aardoppervlak als in de Kennely-Heaviside lagen gaat energie verloren. Dit verlies wordt groter naarmate de frequentie van het te transporteren signaal hoger is. Bij zeer hoge frequenties (> 100 MHZ) kan men m.b.v. de grondgolf en/of de gereflecteerde golf geen grote afstanden meer overbruggen. Men is dan aangewezen op golven die zich rechtlijnig voortplanten. Bij ontvangst van zeer korte golven (bijv. signalen van FM- en TV- zenders) moeten de ontvangantenne en de zendantenne elkaar "rechtstreeks" kunnen zien. Vandaar dat FM- en TV-antennen op hoge torens worden gezet, en ook de ontvangantennen zo hoog mogelijk worden geplaatst.

Tijdens het transport van elektro-magnetische golven worden bij de gewenste informatie stoorsignalen toegevoegd, Een hinderlijke storing is de zogenaamde *atmosferische* ruis. Deze is voor een groot deel te wijten aan allerlei elektrische ontladingen die over de gehele aarde in de ruimte tussen het aardoppervlak en de ionosfeer plaats vinden. Verder komt er in deze ruimte nog ruis binnen uit het heelal, die afkomstig is van andere hemellichamen. Bij ontvangst van signalen die een lange weg hebben afgelegd heeft men veel last van atmosferische ruis: bij ontvangst van signalen op korte afstand van de zender is de storing t.g.v. atmosferische ruis gering. Hierbij dient te worden opgemerkt dat storingen t.g.v. elektrische apparaten en voedingsleidingen in de praktijk vaak aanzienlijk sterker zijn dan de atmosferische ruis.

ONTVANGANTENNEN

Een ontvangantenne zet elektro-magnetische golven om in evenredige elektrische spanningen.

Een ontvangantenne bestaat in principe uit een stelsel van één of meerdere stroomgeleiders. Dit stelsel wordt in het stralingsveld van een zendantenne geplaatst. Hierdoor worden er in de geleider(s) spanningen geïnduceerd waarvan het verloop overeen komt met dat van het elektromagnetische veld. De in een ontvangantenne geïnduceerde spanning (u_{ant}) kan men m.b.v de volgende formule berekenen.

$$U_{eff} = E \cdot h_{eff}$$

E is de veldsterkte ter plaatse van de ontvangantenne.

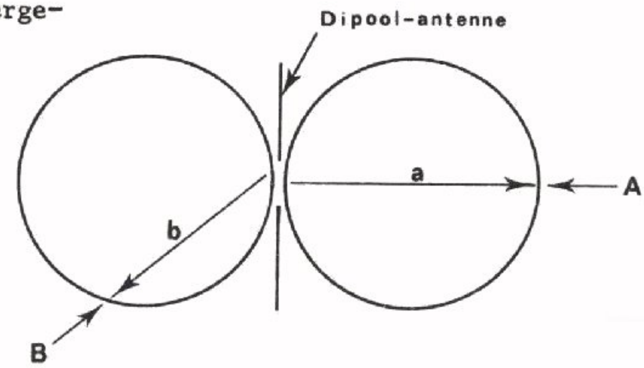
h_{eff} is de *effectieve antennehoogte*. Deze wordt bepaald door de afmetingen en de vorm van de antenne.

Aan de zendzijde en aan de ontvangzijde van een transportsysteem van elektro-magnetische golven wordt vaak eenzelfde soort antenne met dezelfde afmetingen toegepast. De $\frac{1}{2}\lambda$-dipoolantenne van blad 16 heeft een h_{eff} van $\frac{2}{\pi}\, l$ (l is de totale lengte van de antenne).

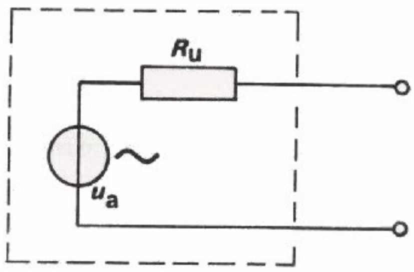
Veronderstel dat een $\frac{1}{2}\lambda$-ontvangantenne van $1\frac{1}{2}$m lengte is opgesteld in een ruimte waar een veldsterkte van 10 mV/m heerst. Hoe groot is dan de in die antenne geïnduceerde spanning ?

$U_{a(eff)}$ = [mV]

Een ontvangantenne ontvangt de signalen niet uit alle richtingen even goed. Met behulp van een *richtingsdiagram* wordt dit aangegeven.
Het richtingsdiagram van een ontvangantenne komt overeen met het stralingsdiagram van eenzelfde zendantenne.
Hiernaast is het richtingsdiagram van een dipoolantenne weergegeven. (vergelijk met blad 16).
De geïnduceerde antennespanning t.g.v. signalen uit richting A is evenredig met de lengte van pijl a; t.g.v. signalen uit richting B evenredig met de lengte van pijl b, enz.



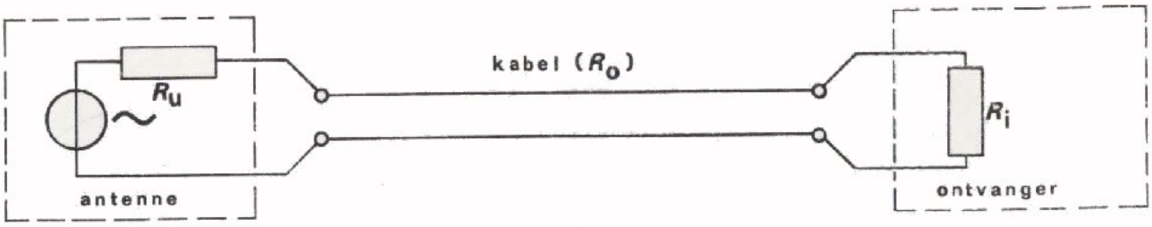
Een ontvangantenne kan men in het algemeen voorstellen als een wisselspanningsbron met een E M K (u_a) in serie met een zekere uitgangsweerstand R_u (zie figuur). R_u noemt men de karakteristieke weerstand van de antenne.



De waarde van R_u komt overeen met die van de stralingsweerstand van eenzelfde zendantenne. De R_u van een $\frac{1}{2}\lambda$-dipoolantenne is ca. 60Ω (vergelijk met blad 16).

AANPASSING VAN ONTVANGANTENNE MET INGANG VAN ONTVANGER.

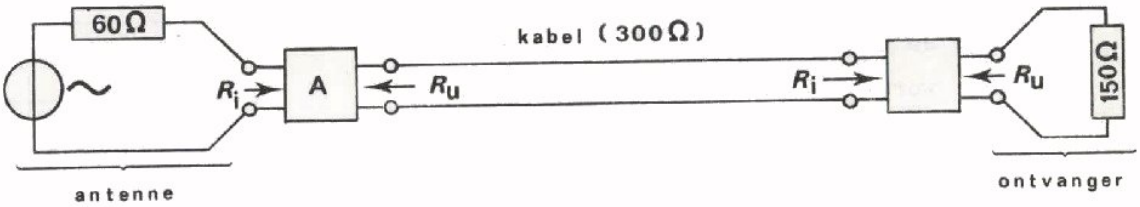
De antenne van een ontvanger is meestal buiten op een hoge plaats opgesteld. De ontvanger zelf staat over het algemeen binnenshuis. De afstand tussen antenne en ontvanger is al gauw enige tientaleen meters. Het transport van het antennesignaal naar de ontvanger gebeurt m.b.v. een kabel. Deze situatie is hieronder getekend.



Aan het begin van deze les hebben we geleerd dat in een dergelijke situatie de kabel *reflectievrij* moet worden afgesloten. Om dit te bereiken moeten we een kabel gebruiken waarvan de karakteristieke weerstand R_o overeenkomt met de karakteristieke weerstand R_u van de antenne. Verder dient ook de ingangsweerstand van de ontvanger (R_i) gelijk te zijn aan R_o. Indien het ene onderdeel niet "past" bij het andere, behoort men op de juiste wijze aanpassingschakelingen toe te voegen (zie blad 9).

OEFENING:

Een dipoolantenne met een karakteristieke weerstand van 60 Ω moet via een kabel van 300Ω worden aangesloten op een ontvanger met een R_i van 150 Ω. Met behulp van twee aanpassingsschakelingen A en B wordt het geheel reflectievrij gemaakt (zie figuur).



- Van de aanpassingsschakeling A is:

  R_i = Ω R_u = Ω

- Van de aanpassingsschakeling B is:

  R_i = Ω R_u = Ω

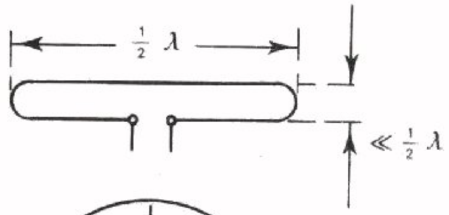
OPMERKING:

In de praktijk wordt het aantal aanpassingsschakelingen tot een minimum beperkt (in elke aanpassing treedt immers vermogensverlies op). De inwendige weerstand van een ontvanger (bijv. een TV-toestel) is over het algemeen een vast gegeven. Men moet vaak zelf een daarbij passende antenne en een kabel uitzoeken. We hebben al opgemerkt dat er bij kabels een ruime keuze is m.b.t. de karakteristieke weerstand. Op het volgende blad zullen we zien dat er ook antennen met uiteenlopende karakteristieke weerstanden voorhanden zijn.

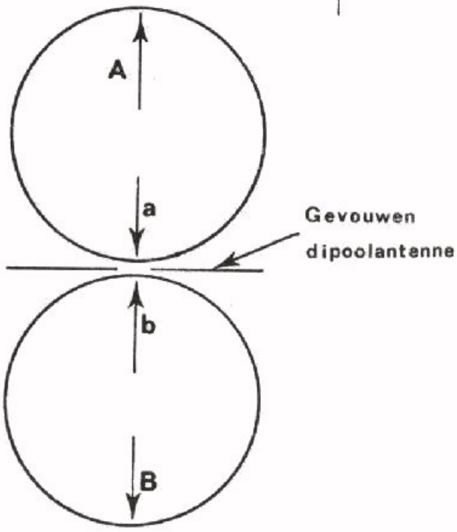
ENIGE SOORTEN ONTVANG- RESP. ZENDANTENNEN.

A. De "open" $\frac{1}{2}\lambda$-dipoolantenne. Deze is op pag. 16 reeds aan de orde geweest. De karakteristieke weerstand (resp. stralingsweerstand) van deze antenne is 60 Ω.

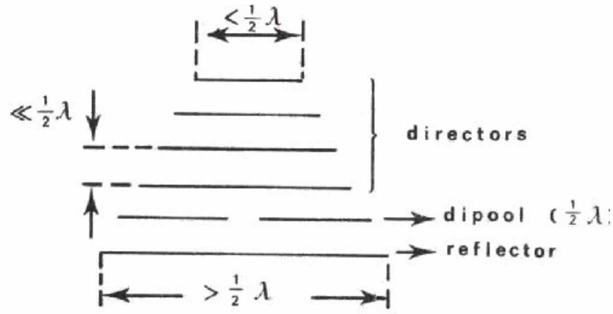
B. De "gevouwen" $\frac{1}{2}\lambda$-dipoolantenne. Deze is hiernaast afgebeeld. De antenne heeft een weerstand van 240 Ω.



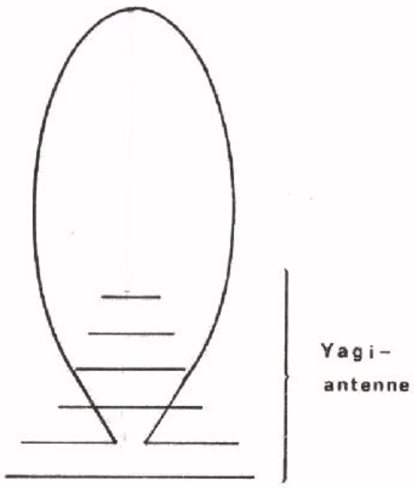
Het richtingsdiagram (resp. stralingsdiagram) komt overeen met dat van de "open" dipoolantenne. Bij gebruik als zendantenne is de straling maximaal in de richtingen A en B. Bij gebruik als ontvang-antenne wordt maximaal signaal ontvangen uit de richtingen a en b.



C. De Yagi-antenne. Een Yagi-antenne bestaat uit een dipoolantenne (open of gevouwen) gecombineerd met een *reflector* en een of meerdere *directors* (zie figuur). De reflector en de directors zijn staven van koper of alluminium. De reflector is iets langer dan de dipoolantenne; de directors zijn iets korter dan de dipool. Alleen de dipoolantenne wordt verbonden met de ontvanger (resp. zender) De reflector en de directors zijn geïsoleerd opgesteld. De antenneweerstand wordt bepaald door de opbouw van de Yagi-antenne (soort dipool, aantal directors).



De reflector onderdrukt de straling; de directors veroorzaken een bundeling van de straling. De resultaten zijn hiernaast weergegeven. Het richtingseffect wordt groter naarmate het aantal directors groter is.



OEFENING:

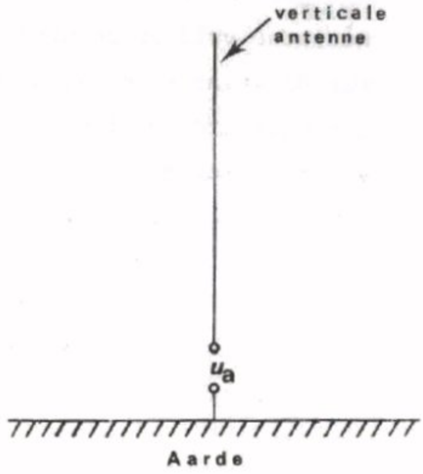
Geef in nevenstaande figuur aan in welke richting de Yagi-antenne maximum straalt resp. maximum ontvangt.

ONTVANGANTENNEN DIE VEEL KORTER ZIJN DAN DE GOLFLENGTE.

Bij ontvangst van signalen met grote golflengte (10 meter en langer) is het om praktische redenen nagenoeg onmogelijk $\frac{\lambda}{2}$ - antennen te gebruiken (Waarom ?) Men gebruikt dan ontvangantennen die veel korter zijn dan de golflengte van het ontvangen signaal. Enkele van de meest toegepaste zullen we hier bespreken.

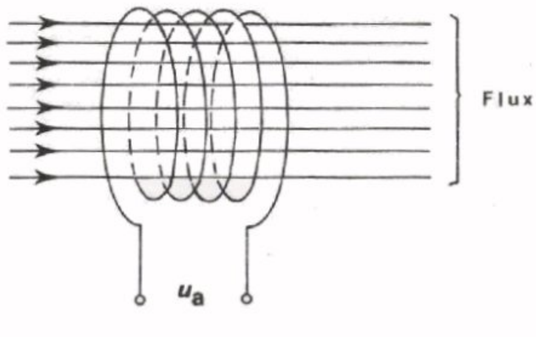
A. Verticale antenne.

Deze bestaat uit een verticaal opgestelde draad of staaf. Bij Het ontvangen signaal is groter naarmate de antenne langer is. Dit is enerzijds te danken aan het vergroten van de effectieve antennehoogte, en anderzijds aan het feit dat de veldsterkte op grotere hoogte sterker is dan vlak boven de aarde. De verticale antenne is niet richtingsgevoelig.



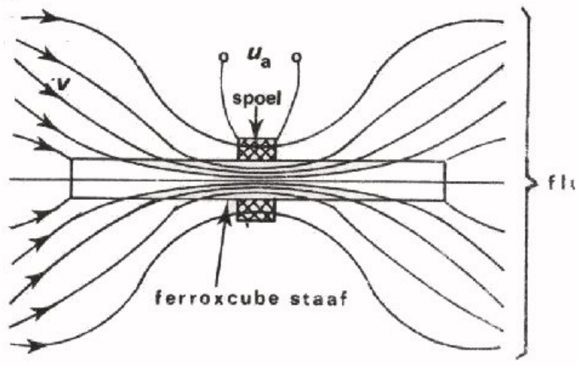
B. De raamantenne.

Een raamantenne bestaat uit een spoel met één of meer windingen die een groot windingsoppervlak hebben. Een raamantenne wordt zodanig opgesteld dat het *magnetische* wisselveld door de opening van de spoel vloeit. De opgewekte spanning is maximaal als de spoel de maximale magnetische flux omvat. De raamantenne is dus wél richtingsgevoelig. Het ontvangen signaal is groter naarmate het aantal windingen en het windingsoppervlak groter is.



C. De ferroceptor of ferroxcube-antenne.

Een ferroceptor bestaat uit een staaf ferroxcube waarop men een spoel heeft aangebracht. Ferroxcube is een materiaal dat zeer goed geleidend is voor magnetische velden. Het gevolg hiervan is dat het magnetische veld in de directe omgeving van de staaf in de spoel wordt geconcentreerd. Hierin wordt zodoende een relatief grote spanning geïnduceerd.



Deze spanning is maximaal als de staaf zodanig is opgesteld dat deze parallel loopt met de richting van de magnetische krachtlijnen. Een ferroceptor is dus richtingsgevoelig. De gevoeligheid van een ferroceptor is groter naarmate de ferroxcubestaaf langer en dikker is en naarmate de spoel meer windingen heeft.

TRANSPORT DOOR MIDDEL VAN ULTRASONE GOLVEN.

Ultrasone golven zijn golven met frequenties vanaf ca. 20 kHz tot ca. 100 kHz. Voortplanting van deze golven kan plaats vinden in vloeistoffen of in lucht. Bij informatietransport door vaste- en vloeistoffen (bijv. bij dieptepeilingen) wordt vaak gebruik gemaakt van ultrasone golven. Het energie-verlies in *water* is gering waardoor vele kilometers kunnen worden overbrugd. De verliezen bij transport van ultrasone golven in *lucht* zijn evenwel veel groter. De afstanden bij dit medium blijven dan ook beperkt tot enige tientallen meters. Praktische toepassingen zijn: draadloze afstandsbedieningen van TV-ontvangers en van diaprojectors. Wij bespreken hier uitsluitend het ultrasone transport via de lucht (transport via vloeistoffen is nogal specialistisch).

Bij het ultrasone systeem wordt de te transporteren elektrische informatie aan de zendzijde omgezet in niet-hoorbare geluidsgolven. De voortplanting van deze golven geschiedt via de lucht. Aan de ontvangzijde worden de luchttrillingen weer omgezet in elektrische spanningen.



Het omzetten van elektrische informatie in evenredige luchttrillingen gebeurt m.b.v. een luidspreker (piëzoelektrische luidsprekers worden vaak toegepast); zie C28.4. Het omzetten van luchttrillingen in evenredige elektrische spanningen vindt plaats m.b.v. een microfoon (meestal kristalmicrofoons); zie C.27.

Eigenschappen van het ultrasone informatie-transport.

- Ultrasone golven planten zich in principe rechtlijnig voort.
  Ten gevolge van obstakels kunnen de golven worden afgebogen, gereflecteerd of geabsorbeerd.
  De voortplantingssnelheid van ultrasone golven is gelijk aan die van hoorbare geluidsgolven, nl. ca. 340 m/s.
- Het energieverlies bij transport van ultrasone golven in lucht is groot. Temperatuur, vochtigheid en verontreinigingen in de lucht hebben invloed op het energieverlies. De verliezen zijn ook afhankelijk van de frequentie van de ultrasone golven.
  De volgende tabel geeft enige oriënterende getallen hieromtrent.

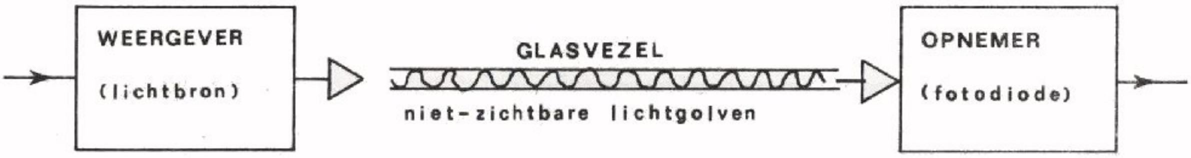
Frequentie	Demping/m
20 kHz	- 0,2 dB
50 kHz	- 0,6 dB
100 kHz	- 1 dB

  Er gaat ook veel energie verloren bij het weergeven (aan de zendzijde) en bij het opnemen (aan de ontvangzijde).
- Het informatietransport kan worden verstoord door andere niet-hoorbare luchttrillingen. Deze kunnen afkomstig zijn van bijv. vliegende insecten of trillende voorwerpen.

TRANSPORT DOOR MIDDEL VAN LICHTGOLVEN.

Het transporteren van informatie d.m.v. licht via glasvezels komt de laatste tijd steeds meer in de belangstelling. Zoals het zich laat aanzien zullen voor professionele toepassingen de glasvezelkabels in de naaste toekomst de "gewone" koperen kabels verdringen.

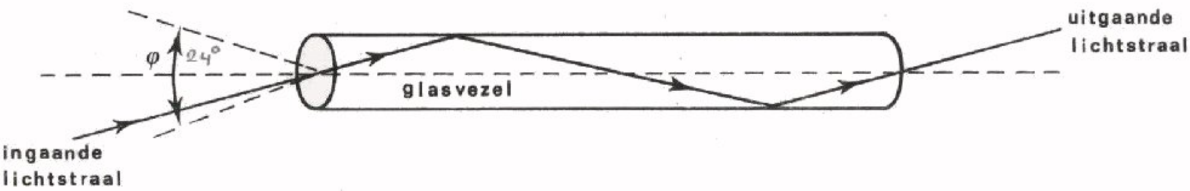
Bij dit lichtgeleidingssysteem wordt de te transporteren elektrische informatie aan de zendzijde omgezet in evenredige niet-zichtbare elektromagnetische golven. De voortplanting van deze golven geschiedt via een glasvezel. Aan de ontvangzijde worden de golven weer omgezet in evenredige elektrische spanningen.



Het omzetten van elektrische informatie in evenredige lichtgolven gebeurt m.b.v. een lichtbron (bijv. een lichtgevende diode). Het omzetten van lichtgolven in evenredige elektrische spanningen vindt plaats m.b.v. een lichtgevoelig element (bijv. een fotodiode).

Het principe van lichtgeleiding in glasvezels.

Een glasvezel heeft een ronde doorsnede; de diameter is in de praktijk ongeveer 50 μm. Vezels van deze dikte zijn goed buigbaar.



Aan de zendzijde wordt m.b.v. een lichtbron een bundel lichtstralen ingebracht. Alle lichtstralen die invallen binnen een bepaalde hoek φ (zie figuur) worden tegen het oppervlak van de vezel gereflecteerd. Deze lichtstralen worden op de hierboven getekende wijze binnen de vezel voortgeplant.

Een aantal van deze vezels kan men samenstellen tot een kabel. Door de zeer kleine diameter van de afzonderlijke vezels kunnen in een doorsnede van een normale coaxiaalkabel vele tientallen vezels worden ondergebracht.

Eigenschappen van lichtgeleiding.

- De voortplantingssnelheid van licht in glas is bij benadering 200.000 km/s. Niet zichtbaar licht laat zich beter in glasvezels geleiden dan zichtbaar licht. Er zijn lichtgevende halfgeleiderdioden en lichtgevoelige halfgeleiderdioden die niet zichtbare lichtgolven (infrarood) uitstralen resp. opnemen.
- Men heeft glasvezels ontworpen waarvan de demping lager is dan 0,01 dB/m Dit is aanzienlijk beter dan de demping van gangbare stroomgeleidende kabels. Bij transport van elektrische informatie via glasvezels moet men echter ook rekening houden met het energie-verlies in de weergever en in de opnemer.
- Storingen kunnen ontstaan doordat er ongewenst licht van buiten af in de glasvezel kan doordringen. Om dit tot een minimum te beperken heeft men rond de glasvezel een lichtabsorberende bekleding aangebracht Bij informatie-transport door glasvezels is de vervorming van de informatie gering.

SAMENVATTING.

- In deze les hebben we 4 soorten transportschakelingen besproken.
  - Transport van elektrische informatie via kabels.
  - Transport d.m.v. elektromagnetische golven via de ruimte.
  - Transport d.m.v. ultrasone golven via het medium lucht.
  - Transport d.m.v. lichtgolven via glasvezels.
- Bij transport van elektrische informatie is van belang:
  - de transporttijd
  - het energieverlies in de transportschakeling.
  - de vervorming van de informatie tijdens het transport.
  - de aan de informatie toegevoegde stoorsignalen.
- Informatie-transport via kabels vindt vooral toepassing bij midden-lange- en korte afstanden.
  - Twee soorten kabels worden veelvuldig gebruikt: parallelkabel en coaxiaalkabel.
  - Bij gebruik van een kabel dient men deze zowel aan het begin als aan het einde af te sluiten met weerstanden waarvan de waarde overeenkomt met die van de karakteristieke weerstand van R_o van de kabel.
  - Als in een praktische situatie de gewenste aanpassingen niet direct realiseerbaar zijn, dan dient men op de juiste plaatsen aanpassingsschakelingen toe te passen.
  - Praktische waarden voor R_o zijn : 50Ω, 60Ω, 75Ω, 135Ω, 300Ω, en 600Ω. De demping van praktische kabels is nogal afhankelijk van de frequentie van het te transporteren signaal; oriënterdende waarden: -0,1 dB/m bij 100 MHz, -0,3 dB/m bij 800 MHz.
- Voor het transporteren van elektrische informatie over grote afstanden of in moeilijk toegankelijke gebieden wordt vaak gebruik gemaakt van elektro-magnetische golven.
  - Aan de zendzijde wordt een zendantenne gebruikt om elektrische spanningen om te zetten in elektro-magnetische golven. Belangrijke eigenschappen van zendantennen zijn: het stralingsdiagram en de stralingsweerstand.
  - Aan de ontvangzijde wordt een ontvangantenne gebruikt om elektro-magnetische golven om te zetten in elektrische spanningen.
  - Belangrijke eigenschappen van ontvangantennen zijn: het richtingsdiagram en de effectieve antennehoogte.
  - Veel voorkomende antennen: de open- en de gevouwen ½λ-dipool, de Yagi-antenne, de verticale antenne, de raamantenne en de ferrocentor
  - De voortplantingssnelheid van elektro-magnetische golven in de ruimte is 300.000 km/s.

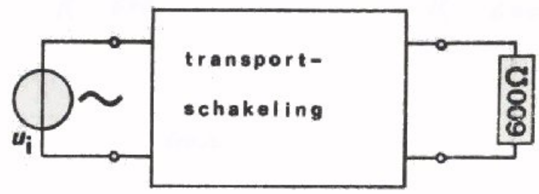
- Ultrasone golven met lucht als transportmedium worden alleen voor korte afstanden gebruikt.
  - aan de zendzijde wordt een speciale luidspreker gebruikt om elektrische spanningen om te zetten in luchttrillingen.
  - aan de ontvangzijde wordt een speciale microfoon gebruikt om luchttrillingen om te zetten in elektrische spanningen.
  - de voortplantingssnelheid van ultrasone golven in lucht ca. 340 m/s. Het energie-verlies is betrekkelijk groot:-1 dB/m bij 100 kHz.

- Glasvezels als transportmedium zullen in de naaste toekomst worden toegepast op plaatsen waar nu nog kabels worden gebruikt.
  - bij glasvezeltransport wordt aan de zendzijde een speciale lichtgevende diode gebruikt om elektrische informatie om te zetten in licht.
  - aan de ontvangzijde gebruikt men speciale lichtgevoelige dioden om licht om te zetten in elektrische spanningen.
  - de voortplantingssnelheid van licht-golven in glas is ca. 200.000 km/s. Het energie-verlies is gering: <-0,01 dB/m.

NAAM: [ ] KLAS: [ ]

OEFENINGEN:

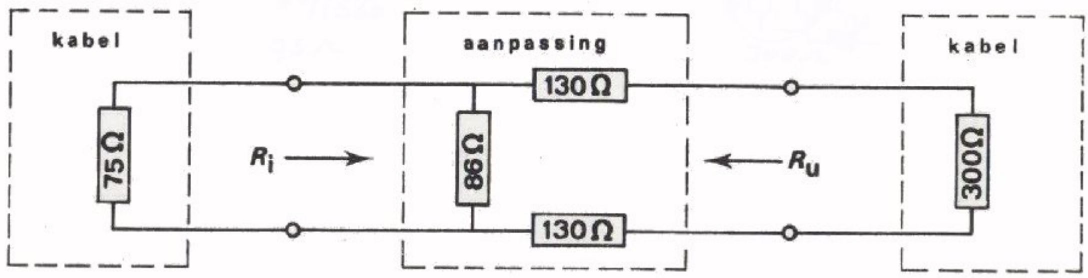
1. Aan een transportschakeling met een ingangsweerstand van 600Ω wordt een spanning van 2 V toegevoerd. Over een weerstand van 600Ω aan de uitgang van de schakeling, ontstaat een spanning van 20 mV.



   - Hoe groot is de demping van de transportschakeling ?

     V_p = [ ] dB

2. Hieronder is het principe-schema van een aanpassingsschakeling getekend. Deze schakeling wordt voorafgegaan door een kabel met een R_o van 75Ω, en gevolgd door een kabel met een R_o van 300Ω.



   - Bereken de ingangsweerstand R_i en de uitgangsweerstand R_u van de aanpassingsschakeling.

     R_i = [ ] Ω R_u = [ ] Ω

3. Hieronder zijn de dwarsdoorsneden van twee parallelkabels afgebeeld. De aders van beide kabels hebben dezelfde diameter; de afstand tussen de aders is niet gelijk.



   - Van welke kabel is de karakteristieke weerstand het grootste ?

     A / B

4.



Van bovengetekende transportschakeling is gegeven:

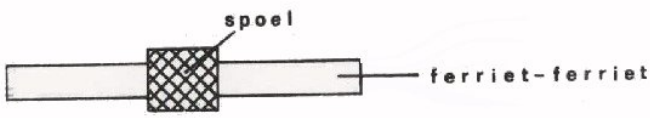
De vermogensverzwakking van de weergever	: − 13 dB
De vermogensverzwakking van de opnemer	: − 11 dB
De afstand tussen weergever en opnemer	: 10 m
De demping van de tussenliggende lucht	: − 0,6 dB/m

Hoe groot is det uitgangsvermogen van de opnemer als aan de ingang van de weergever 2W wordt toegevoerd ?

P_u = ______ mW

5. Hieronder is een ferroceptor weergegeven.
   - De functie van de ferrietstaaf is:

   - de functie van de spoel is.



- geef in deze tekening met pijlen aan uit welke richting(en) maximum signaal wordt ontvangen(veronderstel hierbij dat de richting van de te ontvangen magnetische velden in het vlak van tekening ligt).
- teken in bovenstaande figuur het richtingsdiagram van de ferroceptor.

C 30

DE GEHEUGENFUNCTIE

INLEIDING:

Zowel bij analoge- als digitale informatieverwerking komt het voor dat elektrische informatie kortere of langere tijd moet worden vastgehouden. Schakelingen waarmee dit mogelijk is noemt men *geheugens* ("Heugen" betekent "Onthouden, vasthouden, bewaren"). Digitale informatie bestaat slechts uit *twee* niveaus; nl. het "0"-niveau en het "1"-niveau. Het opslaan van dergelijke informatie kan dan ook m.b.v. betrekkelijk eenvoudige middelen gebeuren. Digitale geheugens zijn opgebouwd uit elementen die twee stabiele toestanden kunnen aannemen. De elektronica kent tal van zulke elementen; bijv. een transistor in "geleidende" en "niet-geleidende" toestand. Analoge informatie bestaat in principe uit een *oneindig* aantal verschillende niveaus.
We kennen geen elektronische elementen die een groot aantal verschillende spanningsniveaus voor langere tijd kunnen vasthouden. Analoge geheugens zijn dan ook meestal samengesteld uit niet-elektronische elementen.
Soms wordt analoge informatie omgezet in digitale informatie en dan opgeslagen in een digitaal geheugen.

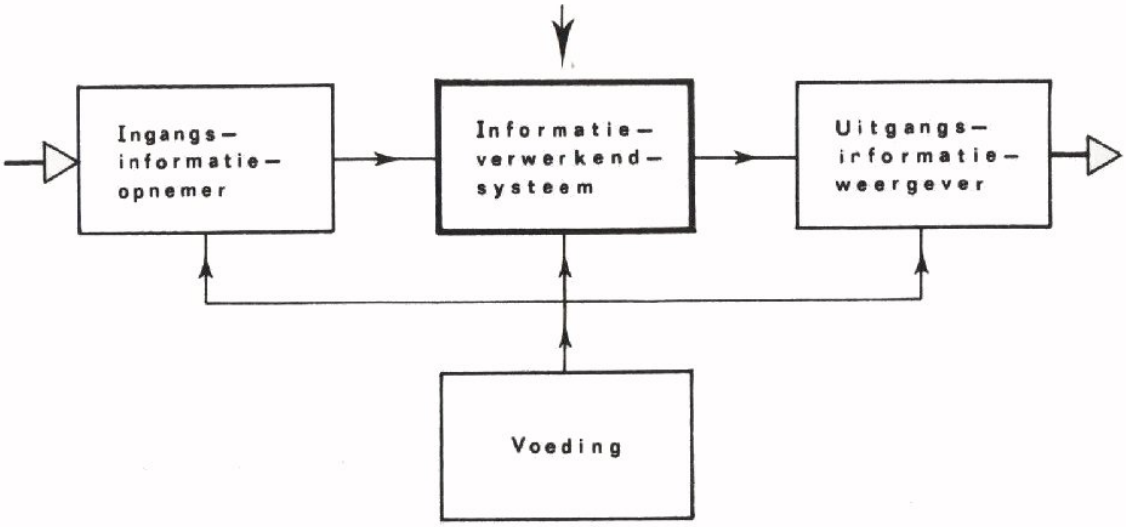
WELKE GEHEUGENS KOMEN IN DEZE LES AAN DE ORDE ?

We zullen twee soorten geheugens onderscheiden:

- Geheugens waarin de informatie voor *onbepaalde* tijd kan worden opgeslagen. Typische voorbeelden hiervan zijn de beeld- en geluidsmagneetband en de beeld- en geluidsplaat. Bij dit soort geheugens is de informatie op *elk gewenst moment* beschikbaar.

- Geheugens waarin de informatie voor *één bepaalde* (betrekkelijk korte) tijd wordt vastgehouden. Bij deze systemen wordt de informatie met een bepaalde *vertraging* doorgegeven. Er ontstaat een tijdsverschil tussen de in- en uitgangsinformatie.

DE GEHEUGENFUNCTIE IS EEN ONDERDEEL VAN DE INFORMATIEVERWERKING.



INFORMATIE-OPSLAG VOOR LANGERE TIJD.

Het is moeilijk analoge informatie in *elektrische vorm* langdurig vast te houden, Het volgende voorbeeld zal dit verduidelijken.

Een elektrische spanning kan men bewaren door m.b.v. deze spanning een condensator te laden. In *theorie* blijft de spanning bewaard zolang de condensator niet belast wordt. In de *praktijk* blijkt de condensator reeds na een korte tijd ontladen te zijn; de spanning is dan verdwenen.

Bij analoge geheugens gaat men daarom op een andere manier te werk. De elektrische informatie wordt eerst omgezet in een *niet-elektrische* informatie die wél langdurig houdbaar is. Op het moment dat men de elektrische informatie nodig heeft wordt de niet-elektrische informatie weer omgezet in een elektrische. Deze methode wordt bijvoorbeeld toegepast bij een geluids-magneetband. Om een bepaald radioprogramma te bewaren, wordt de elektrische geluids-informatie van de radio omgezet in een magnetische informatie op de band. Wil men het programma later nog eens horen dan wordt de magnetische informatie op de band weer omgezet in een elektrische geluidsinformatie.



De opslagtijd $t_2 - t_1$ kan vrijwel onbeperkt lang zijn.

Het omzetten van elektrische informatie in niet-elektrische informatie en omgekeerd is in de voorgaande lessen C27 en C28 uitgebreid behandeld en wordt bekend verondersteld.

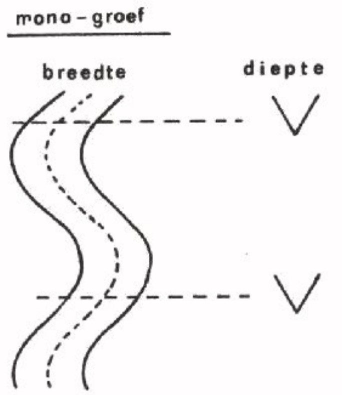
Belangrijke eigenschappen van het geheugen zijn:

- De *capaciteit*.
  Hiermee wordt bedoeld, de hoeveelheid informatie die men in het geheugen kan opslaan. Over het algemeen wenst men geheugens met grote capaciteit bij kleine afmetingen.
- De *getrouwheid*.
  Hiermee bedoelen we, de mate van overeenkomst tussen de informatie die na opslag gereproduceerd wordt en de oorspronkelijke informatie. Vanzelfsprekend wordt de getrouwheid niet alleen bepaald door de eigenschappen van het geheugen zelf. De omzetters spelen hierin ook een grote rol.
- De *toegankelijkheid*.
  We bedoelen hier de snelheid waarmee opgeslagen informatie uit het geheugen kan worden gehaald. Mechanische geheugens zijn over het algemeen minder snel toegankelijk dan elektronische geheugens.

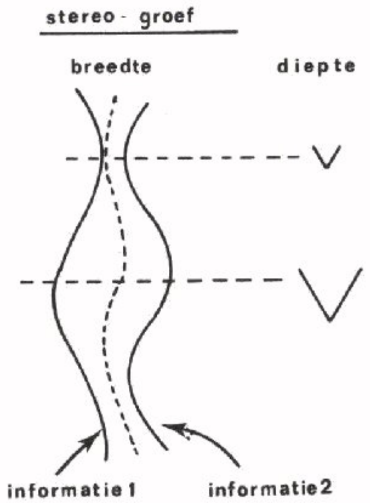
DE PLAAT ALS INFORMATIEDRAGER.

Reeds enige tientallen jaren gebruikt men een plaat om spraak en muziek vast te leggen: de *grammofoonplaat*. Sinds kort bestaan er ook platen waarop beelden zij vastgelegd, de zogenaamde *video-platen*. In beide gevallen is de informatie opgeslagen in een spiraalvormig spoor, waarvan het beginpunt zich bevindt aan de rand van de plaat en het eindpunt bij het midden van de plaat. Het spoor is aangebracht in een persmassa van kunststof, meestal "vinylite".

DE GRAMMAFOONPLAAT.



Bij een "gewone" grammofoonplaat (*Mono*-plaat) is de geluids-informatie vastgelegd in de vorm van een groef met zijdelingse slingeringen. (de diepte en de breedte van de groef is overal dezelfde). De grootte van de slingering bepaalt de sterkte van het geluid. Het aantal slingeringen per lengte-eenheid bepaalt de toonhoogte. Hoe de mechanische informatie van een plaat omgezet kan worden in elektrische signalen met behulp van een pick-up is in de vorige les besproken (C27).

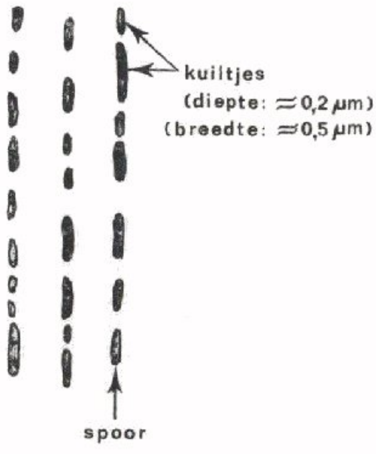


Bij een *Stereo*plaat is de informatie van *twee* geluidssignalen in één groef ondergebracht. De ene zijwand van de groef bevat het trillingspatroon van het ene signaal; de andere zijwand dat van het andere signaal. De diepte en de breedte van de groef is verschillend. Op de plaatsen waar het spoor smal is, is de diepte gering. Op de plaatsen waar het spoor breed is, is de diepte van de groef groter. De naald van de pick-up maakt dus niet alleen zijdelings bewegingen maar gaat tevens op en neer. M.b.v. een speciale *Stereo*-pick-up kunnen de twee signalen onafhankelijk van elkaar worden afgenomen.

De *capaciteit* van een grammofoonplaat hangt af van de lengte van de groef en de hoveelheid van informatie die per lengte-eenheid kan worden aangebracht. Wat het laatste betreft, men ziet tegenwoordig kans voor één heen-en-weergaande beweging van de naald minder dan 30 micron groeflengte te gebruiken. De lengte van de groef kan worden vergroot door de afstand tussen de groeven zo klein mogelijk te maken. Dit bereikt men door de sterke passages van het geluid, die vooral optreden bij lage tonen, tijdens de opname van de plaat te onderdrukken. Bij de weergave van het geluid moeten de lage tonen weer opgehaald worden.

De *getrouwheid* van de plaat bij lage frequenties wordt dus met opzet "verknoeid". Iets dergelijks gebeurt ook bij de hoge frequenties. Bij de hoge frequenties komen namelijk de zwakste geluidspassages voor. Als eis wordt echter gesteld dat de kleinste slingeringen van de proef voldoende groot moeten zijn t.o.v. de onregelmatigheden van de groef, die ruis en andere bijgeluiden veroorzaken. Daarom worden bij de opname de signalen met hoge frequenties extra opgehaald. Bij de weergave moeten deze frequenties in dezelfde mate worden onderdrukt. Ten aanzien van de opnamekarakteristiek van grammafoonplaten zijn er onderlinge afspraken gemaakt tussen de platenfabrikanten.

DE VIDEOPLAAT.



Bij een videoplaat is de informatie op een geheel andere wijze in het spoor vastgelegd dan bij een grammofoonplaat. Bij de *Philips*-videoplaat bestaat het spoor uit een aaneenrijging van microscopisch kleine, langwerpige kuiltjes in het spiegelende oppervlak van de plaat. Deze kuiltjes hebben alle een gelijke diepte en breedte. De *lengte* en de onderlinge *afstand* van de kuiltjes bevat alle informatie voor de weergave van beelden (o.a. helderheid en kleur) met het bijbehorende geluid (mono of stereo). De samenhang tussen het kuiltjespatroon en de daarmee overeenkomende beeld- en geluids-informatie is vrij ingewikkeld. We zullen hier niet op ingaan.

Bij de weergave van de informatie op de videoplaat wordt een zeer fijn lichtpuntje (ca. 1 µm) gebruikt. Tijdens het aftasten van het spoor door het lichtpuntje wordt de gereflecteerde lichtstraal door een fotodiode opgevangen. In de kuiltjes wordt de lichtstraal "vervormd" en wordt er nagenoeg geen licht teruggekaatst. Op het spiegelende oppervlak tussen de kuiltjes, wordt de lichtstraal nagenoeg geheel gereflecteerd. Aldus ontstaat er in de fotodiode een pulserend signaal, waarvan de impuls*duur* en de impuls*afstand* variëren. Uit dit signaal wordt daarna de beeld- en geluidsinformatie "gedistilleerd".

Dankzij dit optische aftastsysteem kunnen zeer smalle sporen worden toegepast met een spoorbreedte van 0,5 micron en een onderlinge spoorafstand van 1,5 micron. Er kunnen 60.000 sporen van één omwenteling op één kant van een plaat met een diameter van 30 cm worden aangebracht.
De *capaciteit* van de optische videoplaat is dus veel groter dan die van een grammofoonplaat. Op een videoplaat kan een videoprogramma van 30 minuten worden opgeborgen. Op eenzelfde plaat zou men theoretisch ca. 50 uur Hi-Fi stereomuziek kunnen vastleggen.

Andere voordelen van de "optische" plaat t.o.v. de "plaat met de naald" zijn:

- De optische plaat is niet onderhevig aan slijtage. Er is immers geen mechanisch contact tussen de aftaster en de plaat.
- Men kan zeer snel een bepaalde passage uit het totale programma selecteren. De aftaster kan bij wijze van spreken over de plaat heen en weer "geveegd" worden. De *toegankelijkheid* is dus groot.

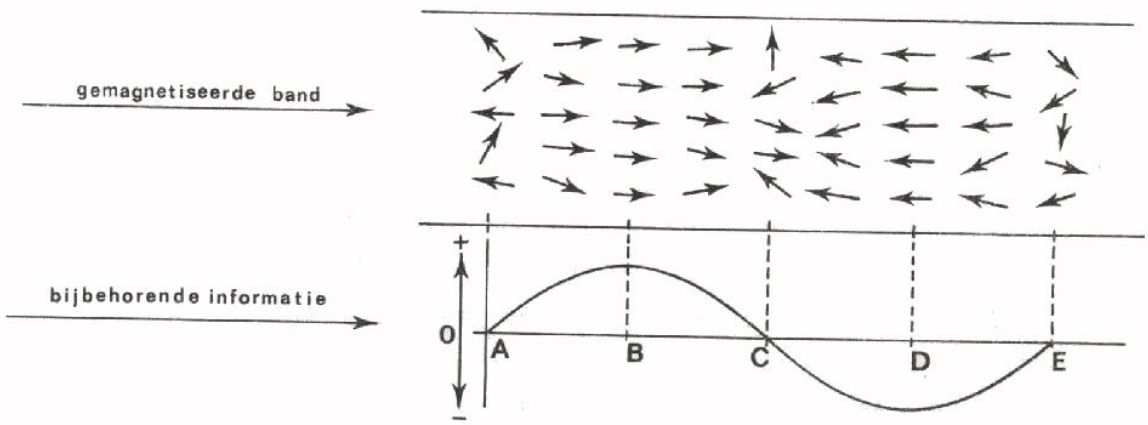
Ondanks deze voordelen van de optische plaat zal voor geluidsregistratie de gewone grammofoonplaat niet gemakkelijk worden verdrongen. De prijs is hierbij doorslaggevend. Het optische aftastsysteem van een videoplaat is namelijk vele malen duurder dan een groeftaster met een naald.

Opmerking:
De Philips-video-plaat noemt men V.L.P. (Video-*Long-Play*).
Er zijn ook videoplaten in de handel (uitgebracht door andere fabrikanten) die met een naald worden afgetast.

DE MAGNEETBAND.

De magneetband wordt in de analoge techniek zowel gebruikt om geluidsinformatie vast te leggen op "audioband" als beeldinformatie op "videoband". De magneetband bestaat uit een strook dun plastiek met daarop een laagje zeer fijn verdeeld ijzeroxyde-poeder vermengd met een soort vernis. De beeld- of geluidsinformatie wordt m.b.v. een magneetkop (zie C28) op de band vastgelegd in de vorm van een magnetische informatie; de ijzeroxydedeeltjes worden gemagnetiseerd en er ontstaat een"magnetisch patroon" op de band.

Onderstaande figuur geeft U een indruk van dat patroon. Op de plaatsen waar de band gemagnetiseerd is (B en D) zijn de ijzerdeeltjes veranderd in "kleine magneetjes" die in een bepaalde richting wijzen. Op de plaatsen A, C en E is de band niet gemagnetiseerd. Tussen deze punten in is de band min of meer gemagnetiseerd.



De mate waarin een gebied is gemagnetiseerd bepaalt de grootte (amplitude) van de informatie. De richting van de magnetisatie (N→Z of Z→N) bepaalt of de informatie positief of negatief gericht is. De afstand tussen de magnetisatiegebieden correspondeert met de periodetijd (frequentie) van de informatie. M.b.v. een weergaveknop (zie C27) kan de informatie van de band weer omgezet worden in overeenkomstige elektrische signalen.

De *capaciteit* van een magneetband hangt af van de lengte van de band en de hoeveelheid informatie die per lengte-eenheid op de band kan worden gebracht. Van dit laatste krijgt men de indruk als men weet dat voor een magnetisch patroon zoals hierboven is getekend, slechts een bandlengte van 10 micron nodig is. De nuttige lengte van een band kan worden vergroot door op één band meerdere sporen naast elkaar te leggen. Bij een *vier*-sporen band neemt ieder spoor slechts 1 mm breedte in beslag, terwijl de neutrale zones tussen de sporen niet meer dan 0,75 mm bedragen. Een vier-sporen band van ca. 700 m lengte heeft bij een afspeelsnelheid van 4,75 cm/s een speelduur van 16 uur (mono-muziek). Deze band kan op een spoel met een diameter van 18 cm worden gewikkeld.

Evenals bij grammofoonplaten worden bij de opname de sterke geluids-passages(lage frequenties) verzwakt op de band geregistreerd. Hierdoor wordt overmagnetisatie (verzadiging) voorkomen. De zwakke passages (hoge frequenties) worden versterkt op de band gezet. Hierdoor bereikt men een gunstige signaal-ruis verhouding. Bij de weergave van de informatie worden deze *getrouwheids*afwijkingen weer gecorrigeerd.

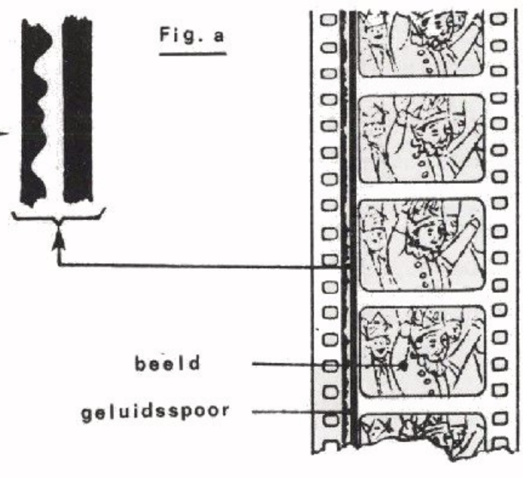
VERGELIJKING VAN PLAAT MET BAND.

- De voordelen van de plaat zijn, dat de informatie langer kan worden bewaarde en de prijs lager is dan die van een band.
- De voordelen van de band zijn, dat de informatie kan worden uitgewist, waarna nieuwe informatie door de gebruiker zelf kan worden aangebracht. De prijs van een band is evenwel hoger dan die van een plaat.

DE OPTISCHE BAND.

De optische band werd in het verleden veelvuldig gebruikt voor geluidsregistratie in radiostudio's. Nu wordt hiervoor in hoofdzaak magneetband gebruikt. Alleen bij films wordt nog vaak de optische band toegepast. Deze is dan samen met de beeldinformatie op één strook aangebracht, zodat een samenloop van beeld en geluid is verzekerd (zie fig.a.).

Bij de optische band is de geluidsinformatie vastgelegd in de vorm van een doorzichtig spoor van wisselende breedte.



Bij het "afspelen" laat men een smalle bundel licht door het geluidsspoor gaan. De film wordt met constante snelheid bewogen, zodat men wisselingen krijgt in de sterkte van de doorgaande lichtbundel. (zie fig.b.) Dit licht valt op een lichtgevoelig element, een fotocel, fotodiode of fototransistor, die de lichtvariaties omzet in evenredige elektrische signalen.

De breedte van het spoor is een maat voor de geluidssterkte; het aantal breedte-wisselingen per lengte-eenheid is bepalend voor de toonhoogte.

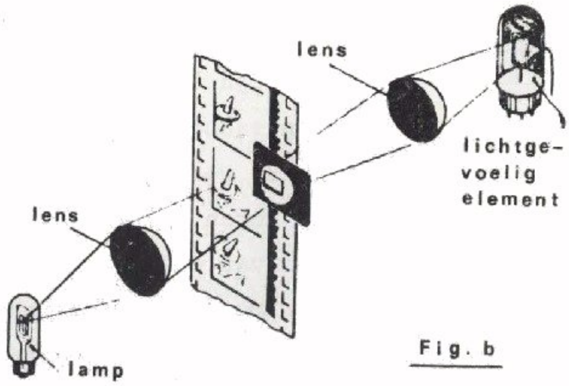


Fig. b

Er zijn ook optische banden, waarbij de geluidsinformatie is vastgelegd in de vorm van een meer of minder doorzichtig spoor van constante breedte. De informatie wordt op dezelfde wijze afgenomen.

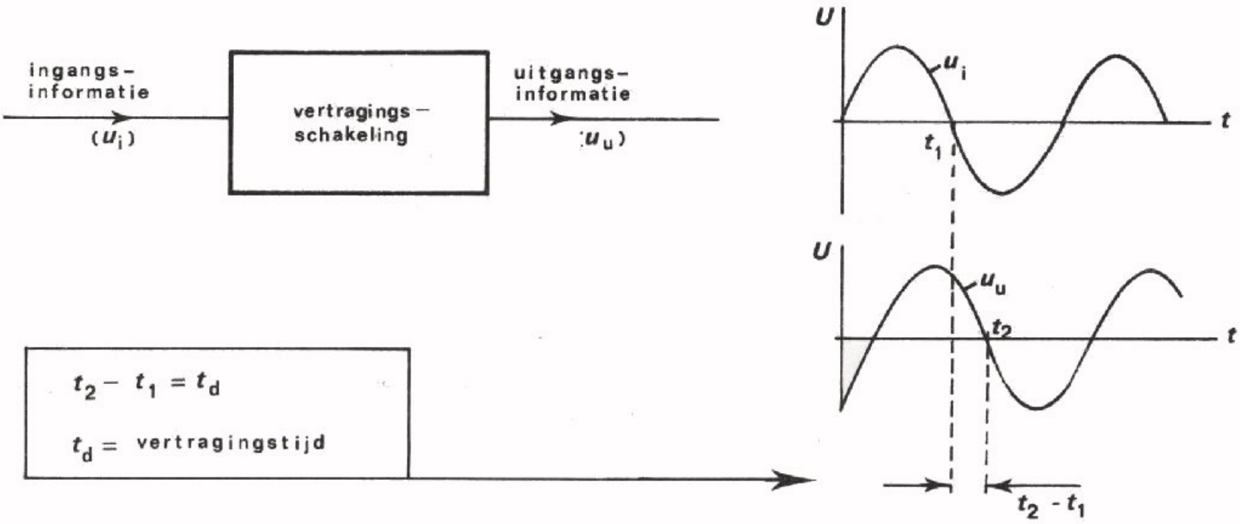
De *capaciteit* van optische band is aanmerkelijk groter dan die van grammofoonplaten, evenwel kleiner dan die van magneetband en videoplaten(VLP). Evenals bij andere geluidsregistratiesystemen is het ondoenlijk de geluidsinformatie getrouw op de optische band te zetten. De zwakste passages zijn dan niet meer te onderscheiden van de onregelmatigheden van de band, terwijl de sterkste pssages dan een ontoelaatbaar spoorbreedte vergen. Meestal vindt daarom bij de opname een zogenaamde *dynamiek-compressie* plaats; het kleiner maken van de verhouding van de sterke en zwakke passages. (Compressie = samendrukking).

Teneinde de *getrouwheid* van het geheel te handhaven wordt bij de weergave dan een evengrote *dynamiek-expansie* toegepast: vergroting van de verhouding tussen sterke en zwakke passages. (Expansie = uitzetten).

KORTSTONDIGE INFORMATIE-OPSLAG.

De grammofoon- en videoplaat, de magneetband en de optische band zijn geheugens waarin de informatie gedurende vrijwel onbeperkte tijd kan worden bewaard. In de elektronica worden ook vaak schakelingen gebruikt waarin de elektrische informatie een zekere *vertraging* ondergaat. Dit soort geheugens noemen we *vertragingsschakelingen*.

De bedoeling van vertragingsschakelingen is dat het uitgangssignaal een bepaalde tijd later komt dan het ingangssignaal. Een voorbeeld van een vertragingsschakeling is het nagalmsysteem dat in sommige akoestische versterkers wordt toegepast. Echte nagalm, zoals dat in grote concertzalen te horen is, is het gevolg van reflecties van geluidsgolven tegen de wanden van de zaal. Het weerkaatste geluid bereikt de toehoorders met enige *vertraging* ten opzichte van het directe geluid. Buiten de concertzaal kan men het nagalmeffect nabootsen door aan de luidsprekers van een geluidsversterker signalen toe te voeren die t.o.v. elkaar zijn vertraagd.



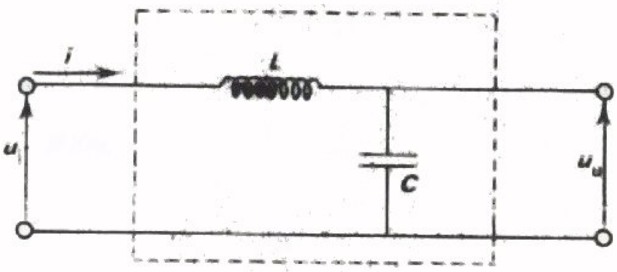
De belangrijkste eigenschappen van vertragingsschakelingen zijn:

- De *vertragingstijd* (in het Engels: delay-time; uitspraak: dilee-taim). De in de praktijk benodigde vertragingstijden liggen tussen enige µs en enige tientallen ms. Vaak wordt er geëist dat de vertragingstijd voor signalen in een breed frequentiegebied hetzelfde is.
- De *getrouwheid*. Hiermee bedoelen we de mate van overeenkomst van het uitgangssignaal met het ingangssignaal. Vanzelfsprekend is het de bedoeling dat er tijdens de vertraging geen vorm- en amplitude-veranderingen optreden. We spreken dan van een "goede getrouwheid".
- Het *rendement*. Dit is de verhouding van het uitgangsvermogen en het ingangsvermogen. Ideaal zou zijn als er tijdens de vertraging geen energie "verloren" zou gaan.

In het resterende deel van deze les worden enige vertragingsschakelingen behandeld. Bovengenoemde eigenschappen komen hierbij aan de orde.

VERTRAGING MET BEHULP VAN CONDENSATORS EN SPOELEN.

De eenvoudigste manier om een tijdsvertraging te krijgen is gebruik te maken van de traagheid van een condensator en een spoel. We weten immers dat er *tijd* nodig is om een condensator te laden. De spanning op een condensator ijlt *na* op de stroom. Bij een spoel is er *tijd* nodig om een stroom te doen vloeien. De stroom door een spoel ijlt *na* op de spanning. Van deze eigenschappen wordt gebruik gemaakt bij het volgende vertragingsfilter.



De ingangsspanning u_i veroorzaakt een stroom i door de spoel die *later* komt dan u_i. Met behulp van deze i wordt de condensator C geladen. De spanning op de condensator die tevens de uitgangsspanning u_u is, komt weer *later* dan de stroom i. Er bestaat dus een tijdsverschil tussen u_i en i_u, waarbij u_u enige tijd *na* u_i beschikbaar komt. Hoe groot de vertragingstijd is zullen we op het volgende blad door *meting* gaan bepalen.
We kunnen deze tijd ook *berekenen*.

OEFENING:

Stel dat bij bovenstaand filter de frequentie van u_i 10 kHz is.

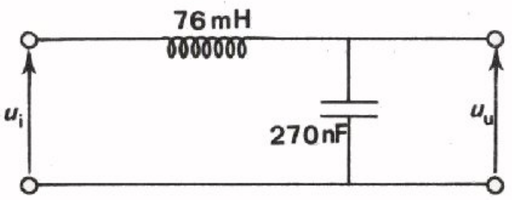
- Als i 90° naijlt op u_i dan komt i [µs] later dan u_i.
- Als verder het faseverschil tussen u_u en i 90° bedraagt, is de vertraging tussen u_u en i [µs].
- De totale vertragingstijd tussen u_i en u_u is: t_d = [µs]

Hoe groot is de vertragingstijd tussen u_i en u_u als de frequentie van de ingangsspanning 20 kHz resp. 5 kHz is ?

$t_d(f = 20\ \text{kHz})$ = [µs] $t_d(f = 5\ \text{kHz})$ = [µs] .

OPDRACHT 1: DE OVERDRACHTSEIGENSCHAPPEN VAN EEN *LC*-FILTER.

- Monteer dit filter op Uw paneel.



- Sluit een sinusvormige spanning aan op de ingang van het filter: $U_{it} \simeq 10$ V en $f = 10$ kHz.
- Meet gelijktijdig de in- en uitgangsspanning met behulp van een dubbelstraaloscilloscoop.
- Meet het *tijds*verschil (géén faseverschil) en de amplitudeverhouding tussen in- en uitgangsspanning.
  Noteer de meetresultaten in onderstaande tabel.

Frequentie u_i	Vertragingstijd tussen u_u en u_i	U_{it}/U_{ut}
5 kHz		
10 kHz		
20 kHz		

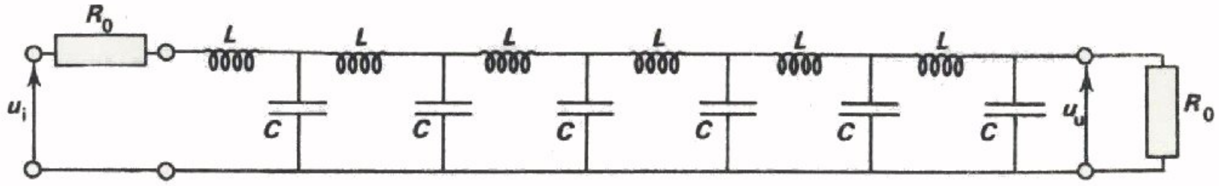
- Herhaal de meting bij frequenties van 5 kHz en 20 kHz. Noteer deze meetresultaten ook in de tabel. Vergelijk de meetresultaten met de berekende waarde van blad 11.

CONCLUSIES:

- De vertragingstijd is **wel/niet** afhankelijk van de frequentie.
- De vertragingstijd wordt kleiner naarmate de frequentie **hoger/lager** wordt.
- De amplitude van de uitgangsspanning is **wel/niet** gelijk aan die van de ingangsspanning.
- De amplitude van de uitgangsspanning neemt af naarmate de frequentie **hoger/lager** wordt.

VERTRAGING MET BEHULP VAN *LC*-VERTRAGINGSLIJNEN.

Uit voorgaande meting kunnen we concluderen dat een enkelvoudige *LC*-filter als vertragingsschakeling niet goed voldoet. Zowel de vertragingstijd als de verzwakking blijken erg afhankelijk te zijn van de frequentie. Veel betere resultaten verkrijgt men met behulp van een aantal *LC*-filters achter elkaar.



Bij deze *LC*-vertragingslijn vindt een vrijwel *getrouwe* informatie-overdracht plaats als aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- De waarden van L en C mogen niet groot zijn; spoelen van enkele tientallen μH en condensators van enkele tientallen pF.
- Zowel de ingang als de uitgang moet worden afgesloten met een weerstand waarvan de waarde gelijk is aan $R_o = \sqrt{\frac{L_t}{C_t}}$, waarin:

L_t = de som van de zelfinducties L; C_t = de som van de capaciteiten C.

R_o noemt men de *karakteristieke* weerstand van de vertragingslijn. Als men de lijn met een andere weerstandswaarde zou afsluiten, ontstaan *reflecties* (zie C29).

De vertragingstijd is bij benadering $t_d = \sqrt{L_t . C_t}$

(Dit komt overeen met de vertraging van een transmissiekabel; zie C29).

Tijdens het vertragen van het signaal treedt enig energie-verlies op t.g.v. de verliezen in de condensators en de spoelen.

OEFENING:

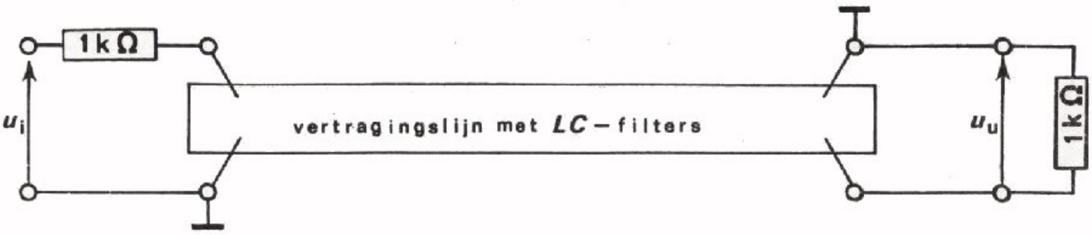
Bij de opdracht op het volgende blad gaan we aan een vertragingslijn zoals hierboven beschreven enige metingen verrichten. De gebruikte "lijn" heeft een $C_t \simeq 800$ pF en een $L_t \simeq 800$ μH.

Zowel de ingang als de uitgang van de vertragingslijn moeten we dus

aflsuiten met een weerstand van R_o = [Ω] .

De te verwachten vertragingstijd is t_d = [ns] .

OPDRACHT 2: HET METEN AAN EEN *LC*-VERTRAGINGSLIJN.



- Monteer de vertragingslijn op Uw paneel. Sluit de ingang en de uitgang af met een weerstand van 1 kΩ zoals in de figuur is aangegeven. Klopt deze weerstandswaarde met die welke U op het vorige blad hebt berekend? Zo niet, voer de berekening dan nogmaals uit.
- Sluit een sinusvormige spanning aan op de ingang van de lijn: U_{it} = 1V en f = 100 kHz.
- Meet gelijktijdig de ingangsspanning u_i en de uitgangsspanning u_u m.b.v. een dubbelstraaloscilloscoop (Let op de aardtekens !)
- Meet het tijdsverschil en de amplitude-verhouding tussen in- en uitgangsspanning. Noteer de meetresultaten in de tabel.
- Vul de tabel verder in met meetresultaten bij de andere frequenties.

Frequentie u_i	Vertragingstijd tussen u_i en u_u	U_{it}/U_{ut}
100 kHz		
200 kHz		
300 kHz		
400 kHz		

- Vergelijk de gemeten t_d met de berekende waarde op blad 13.

CONCLUSIES UIT DEZE METINGEN.

Zowel de vertragingstijd als de amplitude-verhouding tussen in- en uitgangsspanning zijn [wel / nagenoeg niet] afhankelijk van de frequentie.

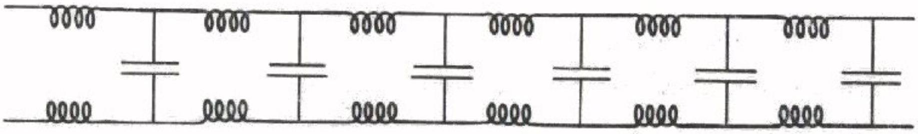
- Maak de ingangsspanning blokvormig, f = 300 kHz. Bestudeer de in- en uitgangsspanning.

De vertragingstijd t_d = [ns].

Het verloop van de uitgangsspanning komt [bijna / helemaal niet] overeen met dat van de ingangsspanning.

DE VERTRAGINGSKABEL.

In C29 is de coaxiaalkabel als transmissiesysteem van elektrische energie besproken. Daarbij is o.a. het vervangingsschema van zo'n kabel aan de orde geweest.



Dit schema blijkt veel overeenkomst te hebben met de opbouw van de vertragingslijn op blad 13. De coaxiaalleiding is dus niet alleen voor elektrische transmissie te gebruiken maar ook als *vertraging* bijzonder geschikt. De zelfinductie en capaciteit van speciale *vertragingskabel* zijn echter aanmerkelijk groter dan van gewone coax-kabel.

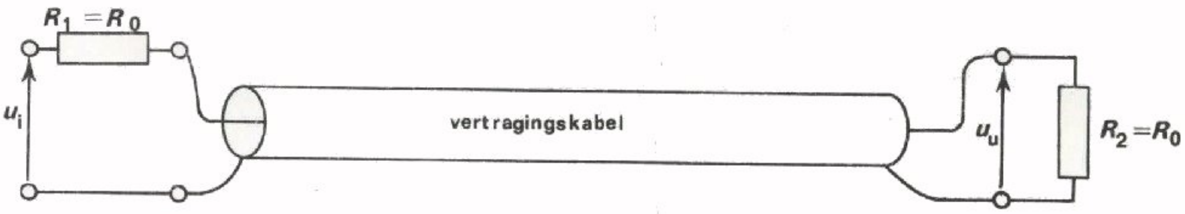
Praktische waarden zijn: L(per meter) ≃ 100 μH

C(per meter) ≃ 100 pF

De vertragingstijd van 5 meter van deze kabel is : $t_d \simeq$ [ ] μs

Hoe gebruikt men een vertragingskabel ?

Evenals bij een gewone coax-kabel moet bij gebruik van een vertragingskabel de in- en uitgang worden afgesloten met een weerstand van een bepaalde waarde. Doet men dit niet, dan ontstaan reflecties waardoor vervorming van de uitgangsspanning optreedt.



De waarde van de weerstanden R_1 en R_2 moet gelijk zijn aan de karakteristieke weerstand R_o van de kabel: $R_o = \sqrt{\frac{L}{C}}$

Uit het bovenstaande rekenvoorbeeld en de meetresultaten van blad 14. blijkt duidelijk dat de vertragingstijd van kabels en *LC*-filters betrekkelijk kort is. Dit soort vertragingslijnen is alleen bruikbaar als het gaat om vertragingen van hoogstens enkele *micro*-seconden.

In de moderne elektronica doen zich echter gevallen voor waarbij men vertragingen van enige tientallen *milli*-seconden nodig heeft. Daarvoor heeft men andere soorten vertragingsschakelingen ontwikkeld. Voordat we de werking daarvan bespreken (blad 18), bekijken we eerst een toepassing van de vertragingskabel (blad 16).

OPDRACHT 3: DE VERTRAGINGSKABEL IN EEN OSCILLOSCOOP.

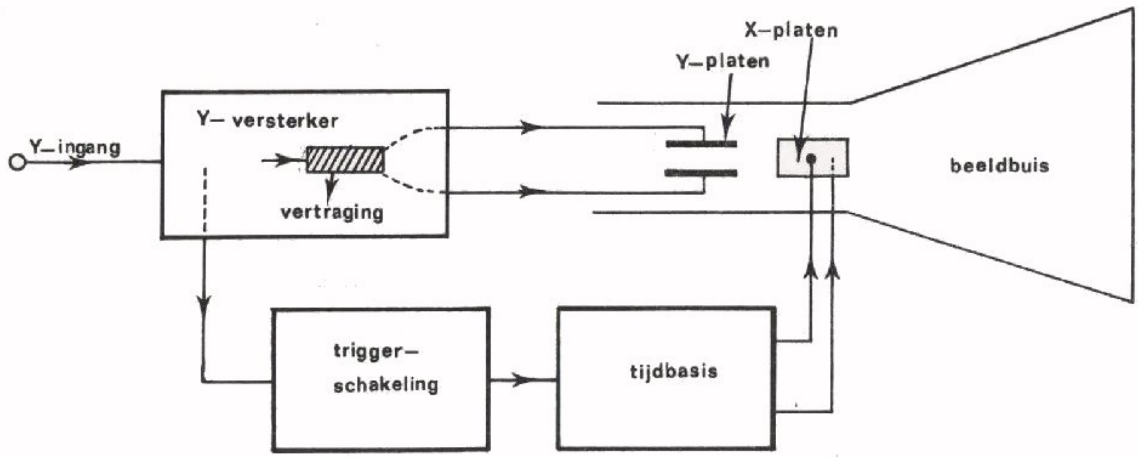
Vertragingskabels worden dikwijls toegepast in oscilloscopen. De bedoeling daarvan wordt pas duidelijk als we eerst weten welke "onvolmaaktheden" een oscilloscoop zonder vertraging vertoont.

- Sluit een blokvormige wisselspanning met een frequentie van bijv. 10 kHz aan op het Y-kanaal van de oscilloscoop.
- Regel de tijdbasis tot er enkele perioden van de blokspanning op het scherm zichtbaar zijn.

U ziet dat de voorzijde (vóórflank) van het eerste blok niet "geschreven" wordt. In ons geval is dat niet zo belangrijk omdat deze vóórflank bij het volgende blok wêl zichtbaar verschijnt. Hebben we echter te maken met zogenaamde *eenmalige verschijnselen*, bijv. een spanningsimpuls die slechts éénmaal optreedt, dan is dat wel van belang. Met onze oscilloscoop kunnen we het begin van zo'n eenmalige impuls niet waarnemen.

Hoe komt dat ?
De tijdbasis van de oscilloscoop heeft altijd enige tijd nodig om te starten; de tijdbasis "moet wachten op een startsein" van de triggerschakeling. De triggerschakeling wordt gecommandeerd door het Y-signaal.
De horizontale afbuigspanning komt dus iets te laat waardoor het eerste gedeelte van het Y-signaal niet wordt "geschreven".

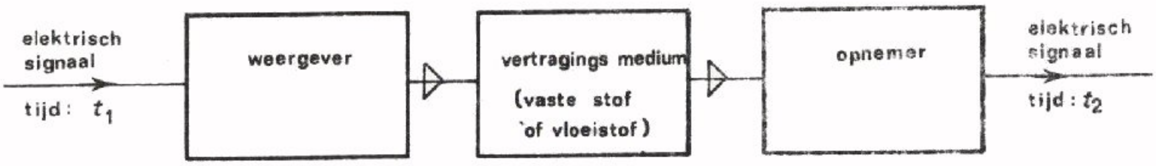
Hoe kan men dit verhelpen ?
Dit euvel kan worden verholpen door het aanbrengen van een vertragingskabel in de Y-versterker van de oscilloscoop.



In een oscilloscoop met vertragingskabel wordt de tijdbasis via de trigger-schakeling gestart door het Y-signaal dat vóór de vertragingskabel wordt afgenomen. Het Y-signaal wordt met een zekere vertraging doorgegeven aan de verticale afbuigplaten. Als de tijdbasis bijv. 10 ns nodig heeft om te starten en de vertragingstijd van de kabel 50 ns bedraagt, arriveert de horizontale afbuigspanning [   ] ns *eerder* op de oscilloscoop dan de verticaleafbuigspanning. Het Y-signaal komt dan zeker volledig op het scherm.

ELEKTRO-MECHANISCHE VERTRAGINGEN.

In gevallen waarbij grote verstragingstijden (> 10 µs) nodig zijn gebruikt men *elektro-mechanische* vertragingssystemen. Bij dit soort vertragingen wordt het elektrische signaal omgezet in een overeenkomstige mechanische trilling. Deze trilling plant zich als een golf voort in een daartoe geschikte vaste of vloeibare stof. Daarna volgt weer een omzetting van de mechanische trilling in een elektrische trilling.



$t_2 - t_1$ = vertragingstijd

De voortplantingssnelheid van mechanische trillingen in vaste stoffen en vloeistoffen ligt tussen 1 en 6 km/s. Dit is ongeveer een factor 10^4 kleiner dan een elektrisch signaal in een vertragingskabel. Het zal daarom duidelijk zijn dat men met een elektro-mechanisch vertragingssysteem tot grotere vertragingstijden kan komen dan met een zuiver elektrische vertragingsschakeling.

Het *rendement* en de *getrouwheid* van elektro-mechanische vertragingssystemen zijn over het algemeen minder gunstig dan die van elektrische vertragingen. De oorzaak hiervan is dat er tweemaal een signaal-omzetting plaats vindt. Bij iedere omzetting gaat energie verloren en is er een grote kans op vervorming.

OEFENING:

In een elektro-mechanisch vertragingssysteem wordt kwartsglas als vertragingsmedium gebruikt. De voortplantingssnelheid van mechanische trillingen in kwartsglas is 4 km/s.

Hoeveel afstand moet de trilling in het glas afleggen opdat de vertragingstijd 1 ms is ?

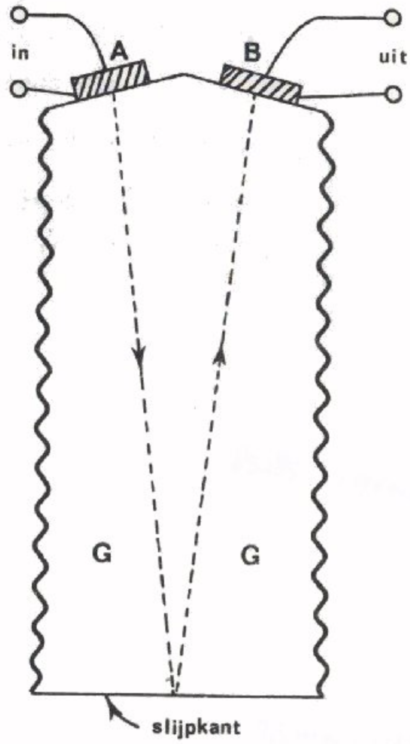
Afstand l = [m]

Veronderstel dat 90% van het toegevoerde vermogen in het vertragingssysteem verloren gaat.

Hoe groot is dan de vermogensverzwakking ?

$V_p = \frac{P_i}{P_u} =$ [ ] ; d.i. [dB]

VOORBEELD VAN EEN ELEKTRO-MECHANISCH VERTRAGINGSSYSTEEM.



In kleurentelevisie ontvangers wordt een vertragingssysteem gebruikt dat een vertraging geeft van 64 μs. De constructie van dit systeem is hiernaast op ware grootte afgebeeld. De omzetter A maakt van het toegevoerde elektrische signaal een evenredige mechanische trilling. Deze trilling plant zich voort in het glaslichaam G in de richting zoals met een streeplijn is aangegeven. Na aankomst bij omzetter B wordt de mechanische trilling weer omgezet in een overeenkomstige elektrische trilling.

De vertragingstijd wordt bepaald door de afgelegde weg van de mechanische trilling en de snelheid waarmee deze trilling zich in het glaslichaam voortplant. Door het afslijpen van het uiteinde van het glaslichaam wordt de vertragingstijd op de gewenste waarde gebracht.

Ten gevolge van onregelmatigheden in het glas kunnen trillingen ontstaan die niet de gewenste weg volgen. Deze ongewenste golven leggen een langere weg af omdat ze een aantal malen worden gereflecteerd voordat ze de uitgangs-omzetter bereiken. Hierdoor ontstaan onregelmatigheden in het uitgangssignaal. Om dit verschijnsel te bestrijden zijn de zijwanden van het glaslichaam ruw gemaakt. Hierdoor worden de eventueel daar terechtkomende ongewenste trillingen niet regelmatig gereflecteerd, maar verstrooid.

De omzetters A en B zijn opgebouwd uit een piëzo-elektrisch plaatje dat aan weerskanten is voorzien van een metaallaagje. Aan omzetter A worden elektrische spanningen toegevoerd waardoor er mechanische vervormingen van het plaatje ontstaan. Bij omzetter B is het plaatje onderhevig aan mechanische trillingen waardoor er elektrische spanningen optreden tussen de metaallaagjes. Deze effecten kent u reeds uit de lessen C27 en C28.

OEFENING:

Bovenstaand vertragingssysteem is op ware grootte afgebeeld. Het vertragingsmedium is glas. Het signaal volgt de met stippellijnen aangegeven weg met een snelheid van 2,5 km/s.

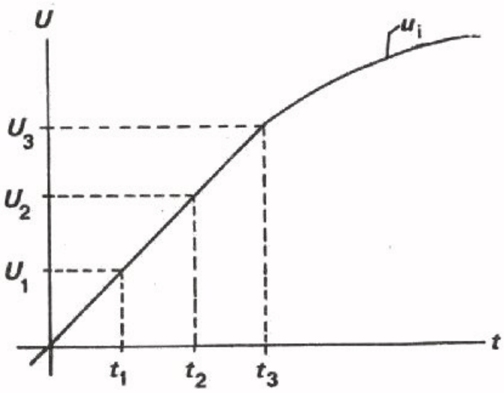
- Hoe groot is de vertragingstijd ? t_d = [μs]

- Hoeveel glas moet men aan de onderkant wegslijpen om de vertragingstijd met 1 μs te verminderen ? s = [mm]

HET "EMMERTJES"-GEHEUGEN.

Het "emmertjes"-geheugen (de naam zal later duidelijk worden) is een ontwikkeling van de laatste jaren. Het is een zuiver *elektronische* vertragingsschakeling waarmee grote tijdsvertragingen te realiseren zijn. Een emmertjes-geheugen bestaat in principe uit een reeks condensators die gescheiden zijn door schakelaars (zie de afbeeldingen op pag. 22).

Hoe werkt het "emmertjes"-geheugen ?



Hiernaast is een gedeelte van het te vertragen ingangssignaal afgebeeld. Dit signaal wordt *niet* in zijn geheel doorgegeven. Alleen de spanningsniveaus U_1, U_2 en U_3 worden in een bepaald tempo doorgeschoven naar de uitgang. De tijdstippen t_1, t_2 en t_3 liggen in de praktijk echter zo dicht bij elkaar dat de *getrouwheid* van de schakeling redelijk goed is.

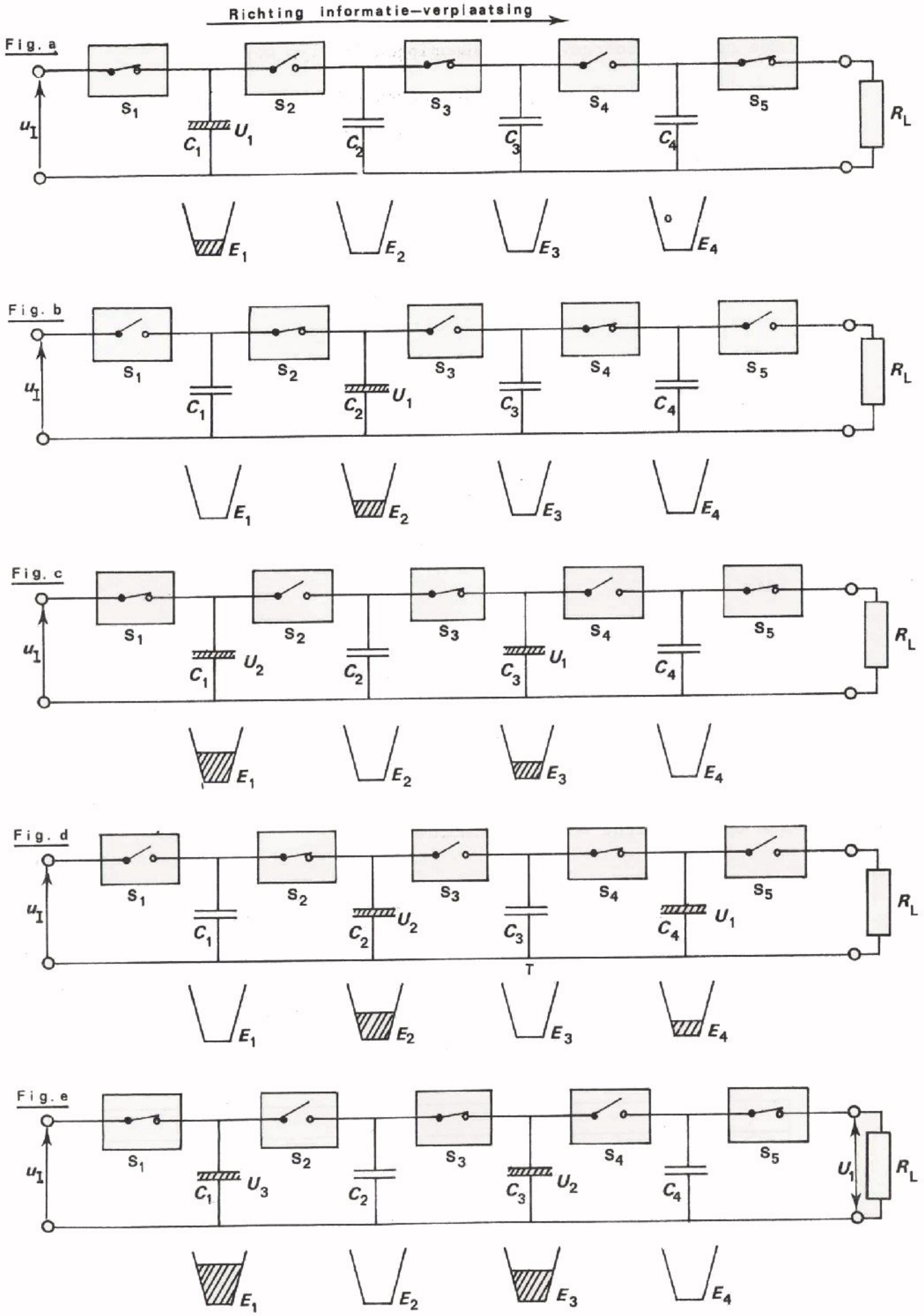
Hoe gaat het doorgeven van spanningen in zijn werk ?

- Op het tijdstip C_1 worden alle oneven schakelaars S_1, S_3 en S_5 gesloten en gaan gelijktijdig alle even schakelaars S_2 en S_4 open (zie fig. a). Het gevolg hiervan is dat de condensator C_1 via S_1 wordt geladen tot het spanningsniveau U_1. (De lading van C_1 wordt gesymboliseerd door de hoeveelheid water in emmertje E_1).
- Na een bepaalde korte tijd gaan alle even schakelaars dicht en alle oneven schakelaars open (zie fig. b). De lading van C_1 wordt via S_2 doorgegeven aan C_2 (het water van E_1 zit nu in E_2).
- Op het tijdstip t_2 worden alle oneven schakelaars weer gesloten en alle even schakelaars geopend (fig. c). C_1 wordt via S_1 geladen tot het niveau U_2. De lading van C_2 gaat naar C_3.
- Even later gaan de even schakelaars weer dicht en de anderen weer open (fig. d). De lading van C_1 schuift naar C_2; die van C_3 naar C_4.
- Op het tijdstip t_3 wordt C_1 geladen tot het niveau U_3. De lading van C_2 schuift door naar C_3. C_4 ontlaadt zich via de belastingsweerstand R_1 (fig.e).

Na vier verschuivingen komt het niveau U_1 van het ingangssignaal dus weer beschikbaar op de uitgang. De vertragingstijd is gelijk aan viermaal de schakeltijd. Men kan dus bij een emmertjesgeheugen de vertragingstijd binnen bepaalde grenzen instellen, door de schakelfrequentie te veranderen. Het is te begrijpen dat de schakelaars in een emmertjes-geheugen geen gewone schakelaars zijn. Men gebruikt hiervoor transistors die met impulsen open en dicht worden gestuurd.

OEFENING:

Een praktische uitvoering van een emmertjes-geheugen is aanzienlijk ingewikkelder dan de schakeling die op pag. 22 is afgebeeld. De schakeling op pag. 22 heeft o.a. het volgende bezwaar. Bij het sluiten van een schakelaar wordt niet alle lading van de voorgaande condensator doorgeschoven naar de volgende condensator.
Leg dit uit.


Richting informatie—verplaatsing
Fig. a
S1 S2 S3 S4 S5
uI
C1 U1 C2 C3 C4
RL
E1 E2 E3 E4
Fig. b
S1 S2 S3 S4 S5
uI
C1 C2 U1 C3 C4
RL
E1 E2 E3 E4
Fig. c
S1 S2 S3 S4 S5
uI
C1 U2 C2 C3 U1 C4
RL
E1 E2 E3 E4
Fig. d
S1 S2 S3 S4 S5
uI
C1 C2 U2 C3 C4 U1
T
RL
E1 E2 E3 E4
Fig. e
S1 S2 S3 S4 S5
uI
C1 U3 C2 C3 U2 C4
U1
RL
E1 E2 E3 E4

SAMENVATTING.

- We hebben onderscheid gemaakt tussen twee soorten geheugens:
  - Geheugens waarbij de informatie voor *onbepaalde tijd* kan worden opgeslagen.
  - Geheugens die de informatie *vertragen* en daardoor een *beperkte tijd* vasthouden.

- Als elektrische informatie voor langere tijd moet worden opgeslagen wordt deze in *niet-elektrische* vorm bewaard bijv. op plaat of band. Het omzetten van de elektrische informatie in een niet-elektrische is daarbij noodzakelijk.
  Het omgekeerde moet gebeuren als men weer over de elektrische informatie wil beschikken.

- De belangrijkste eigenschappen van een geheugen zijn:
  - de *capaciteit*; de hoeveelheid informatie die men kan opslaan.
  - de *getrouwheid*; de mate van overeenkomst tussen de ná opslag weergegeven informatie en de oorspronkelijke informatie.
  - de *toegankelijkheid*; de snelheid waarmee opgeslagen informatie uit het geheugen kan worden gehaald.

- De capaciteit van magneetband (of filmrol) per eenheid van volume is groter dan die van een grammofoonplaat maar kleiner dan van een V.L.P. Bij de opname van geluid op band of plaat worden de zachte passages (hoge frequenties) met grotere amplitude geregistreerd dan die van het originele geluid. Bij sterke passages (lage frequenties) wordt de sterkte verminderd. Dit noemt men dynamiek-compressie. Bij de weergave van het geluid wordt deze afwijking van de getrouwheid gecorrigeerd. Dit noemt men dynamiek-expansie.

- De belangrijkste eigenschappen van vertragingsschakelingen zijn:
  - de *vertragingstijd*; het tijdsverschil tussen in- en uitgangssignaal.
  - de *getrouwheid*; de mate van overeenkomst van het uitgangssignaal met het ingangssignaal.

    het *rendement*; de verhouding van het uitgangsvermogen en het ingangsvermogen.

  Kortstondige tijdsvertragingen (tot ca. 1 μs) kunnen met zuiver elektronische schakelingen worden verkregen. Bijvoorbeeld met een *LC*-vertragingslijn of met een vertragingskabel.

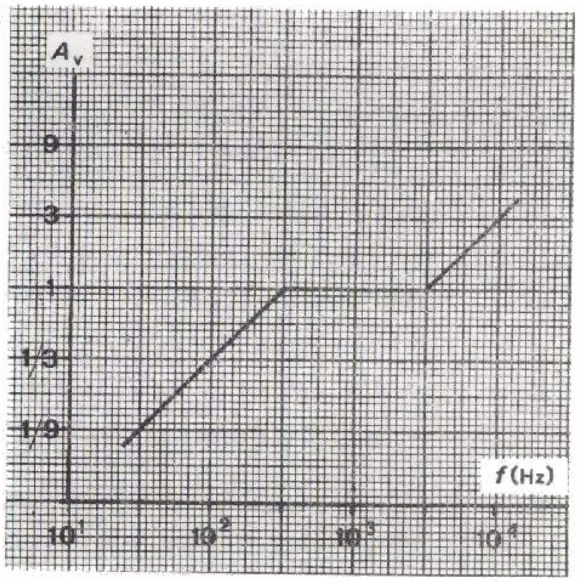
- Voor vertragingen groter dan enige µs gebruikte men tot nog toe in hoofdzaak elektro-mechanische vertragingssystemen. De getrouwheid en het rendement zijn echter minder gunstig dan van elektronische vertragingen. Bovendien zijn deze systemen nogal kwetsbaar en duur.
- Het "emmertjes"-geheugen is een zuiver elektronische vertragingsschakeling waarmee vertragingstijden tot enige tientallen ms kunnen worden bereikt. De vertragingstijd is binnen bepaalde grenzen continu instelbaar. Het "emmertjes"-geheugen is in *IC*-vorm te fabriceren.

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN:

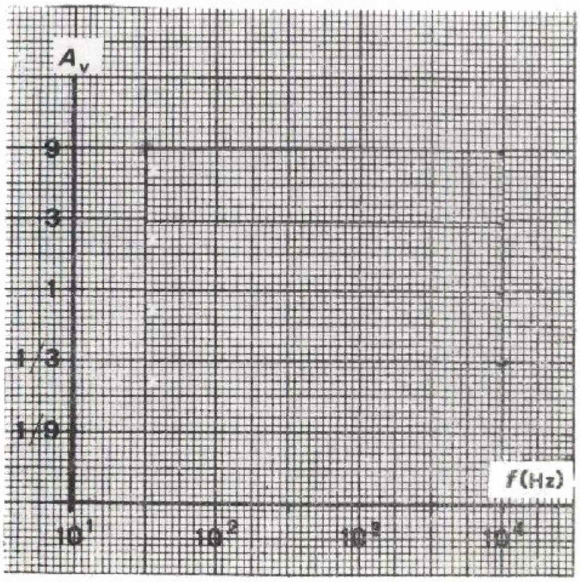
1. Hiernaast is de *opname*-karakteristiek van een grammofoonplaat weergegeven.
Uit deze karakteristiek ziet men dat:
a. de signalen met *lage* frequenties *verzwakt* op de plaat zijn vastgelegd.
b. de signalen met *hoge* frequenties in *versterkte* mate op de plaat staan.



Waarom past men de ingreep volgens punt a toe ?

Waarom doet men hetgeen onder punt b is beschreven ?

Hoe moet de *weergave*karakteristiek verlopen opdat het weergegeven geluid overeenkomt met het oorspronkelijke geluid ?



2. De capaciteit (speelduur) van een grammofoonplaat zou men kunnen vergroten door bij opname een laag toerental te gebruiken. Men kan het toerental echter niet onbeperkt verminderen omdat er dan moeilijkheden optreden bij het registreren van :

- signalen met lage frequentie O
- signalen met hoge frequentie O
- signalen met kleine amplitude O
- signalen met grote amplitude O

3. Een signaal met een frequentie van 1 kHz is op magneetband opgenomen bij een snelheid van 19 cm per minuut. De band wordt afgedraaid met een snelheid van 4,75 cm per min.
   - ten gevolge van de verlaagde snelheid is de frequentie van het weergegeven geluid [4000 Hz / 1000 Hz / 250 Hz] .
   - de geluidsterkte wordt [groter/kleiner/blijft gelijk] .

4. In een elektronisch systeem moet het signaal 40 ns worden vertraagd. Men gebruikt hiervoor een vertragingskabel waarvan de zelfinductie L = 80 µH/m en de capaciteit 80 pF/m bedraagt.
   - Hoeveel meter kabel heeft men nodig ? l = [ ] m
   - Met welke weerstand moet men de kabel afsluiten ?
     R_o = [ ] Ω
   - en wat gebeurt er als men de kabel niet met de juiste weerstand belast ?

5. Als men de schakelfrequentie van een emmertjes-geheugen hoger maakt, wordt dan de vertragingstijd groter of kleiner ?

[ ]

C 31

MENGSCHAKELINGEN I
OPTELSCHAKELINGEN EN
AFTREKSCHAKELINGEN

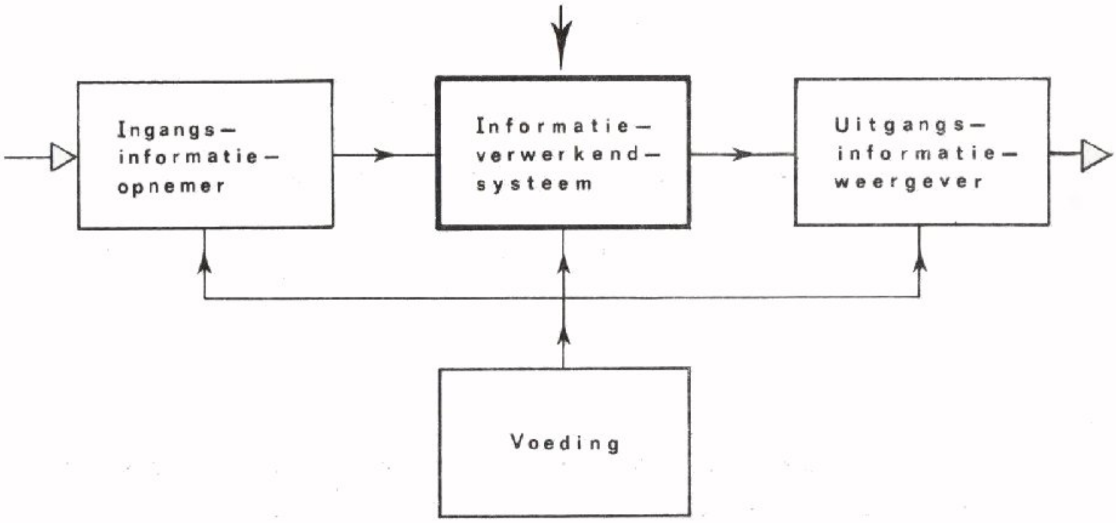
INLEIDING.

De schakelingen die we tot nog toe hebben behandeld, kunnen in twee groepen worden onderscheiden:

1. De zogenaamde *tweepool*-schakelingen. Dit zijn schakelingen met *twee* ingangsklemmen (polen) óf *twee* uitgangsklemmen; dus schakelingen met een ingang óf een uitgang. Voorbeelden van tweepoolschakelingen zijn:
   - voedingsschakelingen
   - oscillators
   - opneemschakelingen
   - weergeefschakelingen.
2. De *vierpool*-schakelingen. Dit zijn schakelingen met *twee* ingangsklemmen ēn *twee* klemmen aan de uitgang; dus schakelingen met een ingang ēn een uitgang. Voorbeelden van vierpoolschakelingen zijn:
   - versterkers
   - verzwakkers
   - omvormers

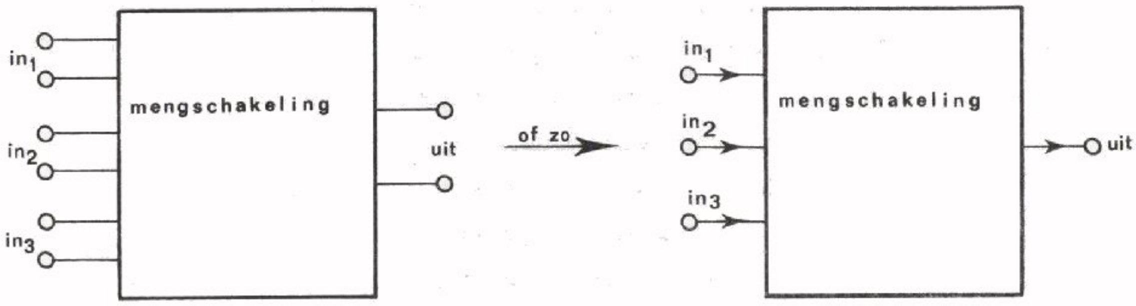
Er is in het verleden ēēn type versterker aan de orde geweest, die soms wēl, maar soms ook niet als vierpoolschakeling kan worden beschouwd. Dit is de in C8 behandelde operationele versterker. Zoals we weten is een "op-amp" uitgerust met twee ingangen (de "+" en "-" ingang). Als we ēēn van de ingangen niet gebruiken functioneert de op-amp als vierpoolschakeling. Bij gebruik van beide ingangen, zoals bijv. bij de toepassing als verschilversterker, hebben we met een *zespool*-schakeling te doen. In dit geval behoort de op-amp tot de groep die we *mengschakeling* noemen. Mengschakelingen zijn schakelingen met meer dan ēēn ingang. De signalen die aan deze ingangen worden toegevoerd worden in de schakeling op de een op andere wijze samengevoegd (gemengd) tot ēēn uitgangssignaal. Deze les en ook de volgende behandelt dit soort schakelingen.

MENGEN BEHOORT TOT HET INFORMATIE-VERWERKENDE DEEL VAN EEN ANALOOG SYSTEEM.



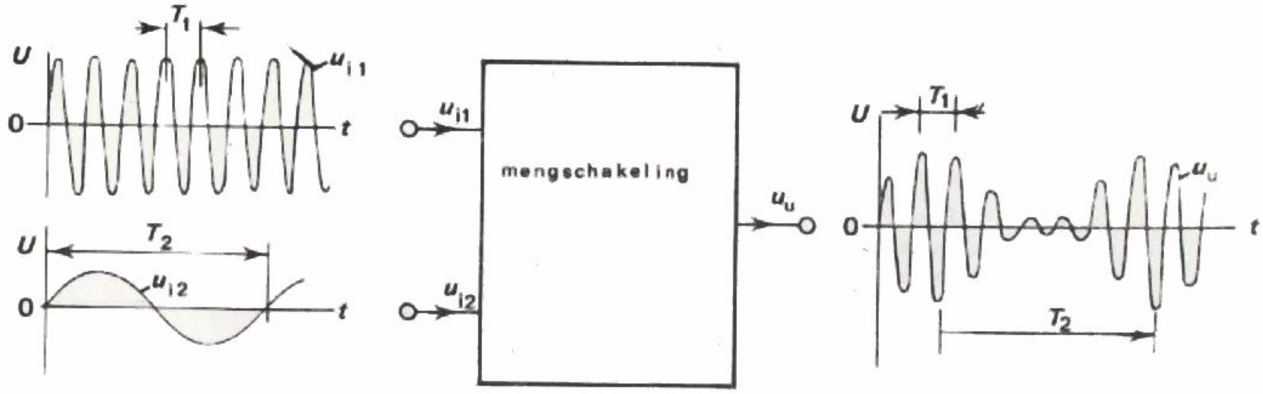
WAT VERSTAAN WE ONDER MENGEN ?

Een mengschakeling stellen we symbolisch voor als een blok met *twee* of *meer* ingangen en één uitgang. Aan de ingangen worden de te mengen signalen toegevoerd. Aan de uitgang komt een mengsel van de ingangssignalen beschikbaar. De ingangen en de uitgang hebben meestal één gemeenschappelijke "pool".



We spreken van mengen als de ingangssignalen zodanig worden verwerkt, dat het uitgangssignaal *kenmerken* van *alle* ingangssignalen bevat.

VOORBEELD:

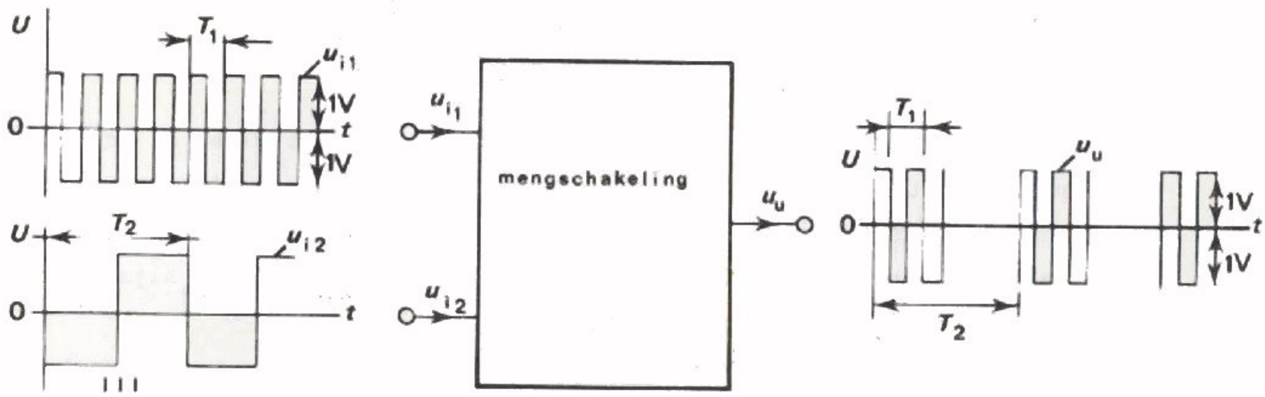


De uitgangsspanning u_u bevat de volgende kenmerken van u_{i1} en u_{i2}:

x - de nuldoorgangen van u_u zijn gelijk aan die van u_{i1}.

- de amplitude van u_u varieert in het ritme van u_{i2}.

OEFENING:



- Hoe is u_{i2} in u_u vertegenwoordigd?

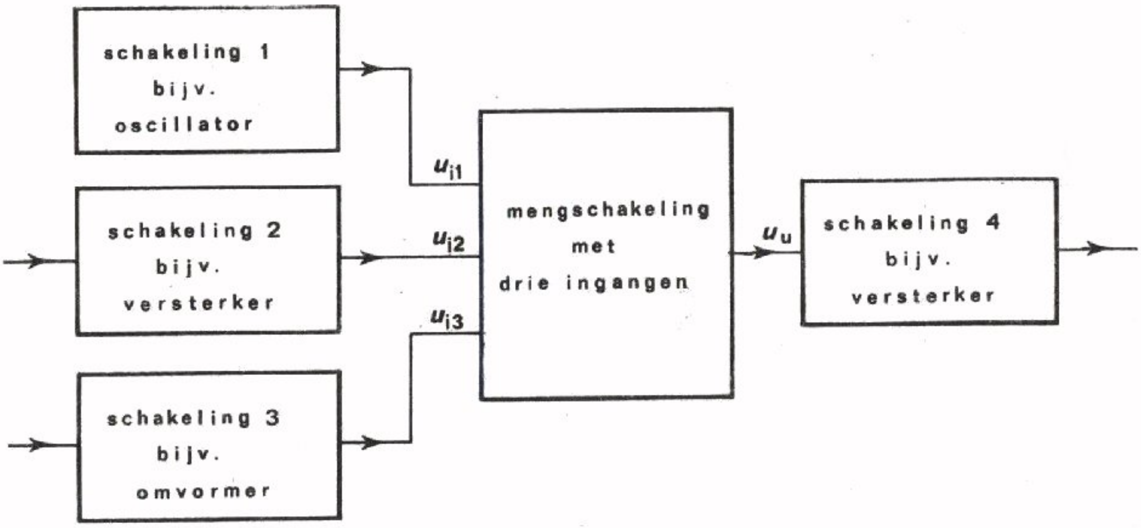
  Bij positieve u_{i2} is er [wel / geen] u_u. Bij negatieve u_{i2} is er [wel / geen] u_u.

- Hoe is u_{i1} in u_u vertegenwoordigd?

  Gedurende de tijd dat er uitgangsspanning is, is deze [wel / niet] gelijk aan u_{i1}.

BELANGRIJKE EIGENSCHAPPEN VAN MENGSCHAKELINGEN.

In de bedrijfstoestand van een mengschakeling wordt elk van de ingangen gestuurd door voorafgaande schakelingen terwijl de uitgang wordt belast met een volgende schakeling.



In verband met bovenstaande situatie zijn van de mengschakeling de volgende eigenschappen van belang:

1. De *ingangsweerstand* van elk van de ingangen. De grootte van de ingangsspanningen u_{i1}, u_{i2} en u_{i3} wordt o.a. bepaald door enerzijds de uitgangsweerstanden van de schakelingen 1,2 en 3 en anderzijds door de ingangsweerstanden van de mengschakeling. Over het algemeen zijn hoge ingangsweerstanden aantrekkelijk.
2. De *uitgangsweerstand*. De grootte van de uitgangsspanning u_u is o.a. afhankelijk van de ingangsweerstand van schakeling 4 en de uitgangsweerstand van de mengschakeling. Over het algemeen wenst men een lage uitgangsweerstand.
3. De *overdracht*. Deze wordt meestal in formule- of in grafiekvorm weergegeven. Hieruit kan men afleiden, welke uitgangsspanning ontstaat als gevolg van de ingangssignalen. De volgende oefening zal dit verduidelijken.

OEFENING:

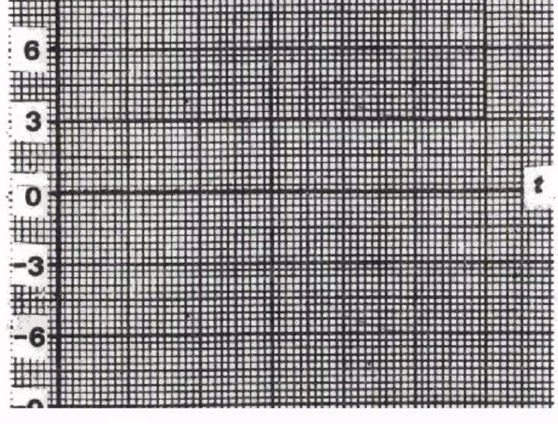
Van een gegeven mengschakeling met twee ingangen is de overdracht:

$u_U = \frac{1}{2}\,(U_{I1} + u_{i2})$

U_{I1} is een gelijkspanning van 12 V.

u_{i2} is een sinusvormige spanning met een topwaarde van 6 V.

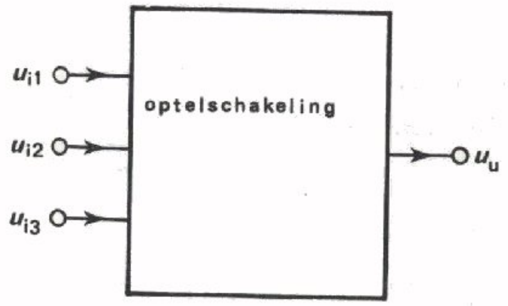
Teken het verloop van de uitgangsspanning van de mengschakeling.



WELKE SCHAKELINGEN WORDEN BEHANDELD ?

In deze les komen de volgende mengschakelingen aan de orde.

1. OPTELSCHAKELINGEN.



De uitgangsspanning u_u van de optelschakeling is evenredig met de *som* van de ingangsspanning u_{i1}, u_{i2} en u_{i3}. Een optelschakeling heeft twee of meer ingangen.

2. AFTREKSCHAKELINGEN



Een aftrekschakeling geeft een uitgangsspanning die evenredig is met het *verschil* van u_{i1} en u_{i2}. Een aftrekschakeling heeft twee ingangen.

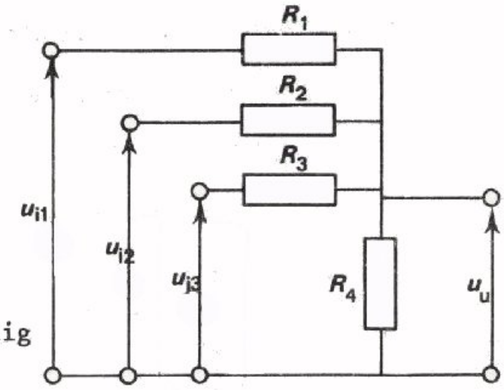
In de volgende les worden enige bijzondere mengschakelingen besproken.

1. Een frequentie-transformatie schakeling. Bij deze schakeling wordt de frequentie van de uitgangsspanning gelijk aan de som of het verschil van de frequenties van de ingangsspanningen.

2. Poortschakelingen. Bij deze schakelingen fungeert het ene ingangssignaal als zogenaamde schakelspanning. Door middel van deze spanning wordt de schakeling al of niet geblokkeerd voor het andere ingangssignaal.

3. Modulatieschakelingen. Bij dit soort schakelingen wordt aan de ene ingang een HF-signaal toegevoerd en aan de andere ingang een LF-signaal. Bij een AM-modulator ontstaat een HF-uitgangsspanning waarvan de amplitude varieert in het ritme van het LF-signaal. Bij een FM-modulator ontstaat een HF-uitgangsspanning waarvan de frequentie varieert in het ritme van het LF-signaal.

OPTELSCHAKELINGEN.



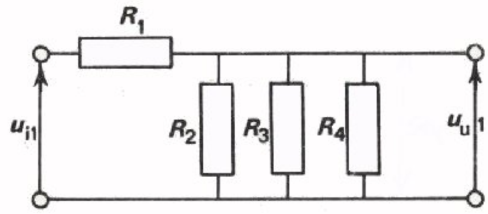
De eenvoudigste schakeling om signalen op te tellen is hiernaast weergegeven. De weerstanden R_1, R_2 en P_3 dienen om te voorkomen dat de spanningen u_{i1}, u_{i2} en u_{i3} onderling worden kortgesloten. Over R_4 ontstaat een spanning u_u die evenredig is met de *som* van u_{i1}, u_{i2} en u_{i3}.

De uitgangsspanning u_u kan men als volgt berekenen:

- u_u t.g.v. u_{i1} (we stellen u_{i2} en u_{i3} gelijk aan nul).

$$u_{u1} = \frac{R_2 \,//\, R_3 \,//\, R_4}{R_1 + R_2 \,//\, R_3 \,//\, R_4} \cdot u_{i1}$$

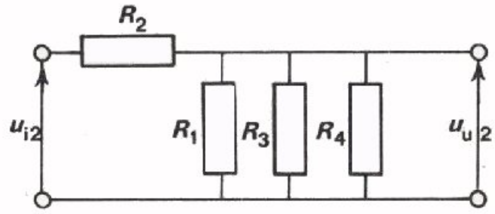
$$= \frac{50\ \text{k}\Omega}{250\ \text{k}\Omega}\, u_{i1} = \frac{1}{5}\, u_{i1}$$



- u_u t.g.v. u_{i2} (stel u_{i1} en u_{i3} gelijk aan nul).

$$u_{u2} = \frac{R_1 \,//\, R_3 \,//\, R_4}{R_2 + R_1 \,//\, R_3 \,//\, R_4} \cdot u_{i2}$$

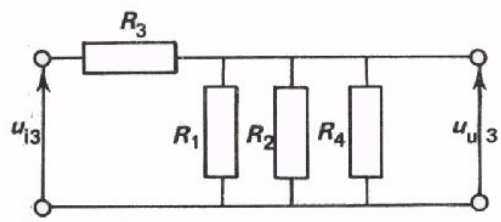
$$= \frac{50\ \text{k}\Omega}{250\ \text{k}\Omega}\, u_{i2} = \frac{1}{5}\, u_{i2}$$



- u_u t.g.v. u_{i3} (stel u_{i1} en u_{i2} 0V).

$$u_{u3} = \frac{R_1 \,//\, R_2 \,//\, R_4}{R_3 + R_1 \,//\, R_2 \,//\, R_4} \cdot u_{i3}$$

$$= \frac{50\ \text{k}\Omega}{250\ \text{k}\Omega}\, u_{i3} = \frac{1}{5}\, u_{i3}$$



Als alle ingangsspanningen werkzaam zijn bedraagt de uitgangsspanning:

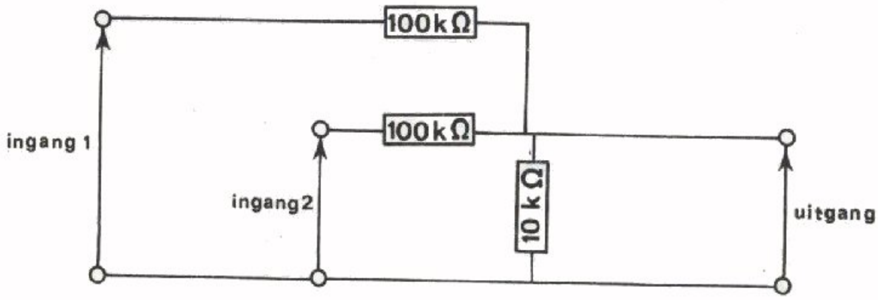
$$u_u = u_{u1} + u_{u2} + u_{u3} = \frac{1}{5}\,(u_{i1} + u_{i2} + u_{i3}).$$

Met deze formule wordt de *overdracht* van deze optelschakeling tot uitdrukking gebracht.

OPDRACHT 1: HET VERGELIJKEN VAN DE FREQUENTIE VAN TWEE SINUSSPANNINGEN.

In de praktijk komt het wel eens voor dat men de frequentie van een sinusspanning exact gelijk wil maken aan de frequentie van een andere sinusspanning. In dit geval kan men een mengschakeling gebruiken waarin de beide signalen worden opgeteld. Aan de hand van de uitgangsspanning kan men bepalen in hoeverre de frequentie van de ene spanning afwijkt van de frequentie van de andere spanning. Op dit blad gaan we deze procedure van frequentie-vergelijking d.m.v. een meting uitproberen. Op het volgende blad geven we een theoretische beschouwing.

- Monteer de volgende mengschakeling op Uw paneel.



- Verbind ingang 1 met een spanning waarvan de frequentie gelijk is aan de netfrequentie. Gebruik hiervoor bijv. de 6,3 V-wikkeling van een nettransformator.

- Verbind ingang 2 met een sinusgenerator. Maak de amplitude van de uitgangsspanning ongeveer gelijk aan het signaal van ingang 1. Zet de frequentieschaal op 50 Hz.

- Meet de uitgangsspanning van de mengschakeling m.b.v. een oscilloscoop. Schakel de X-afbuiging uit (X-deflectie op extern). U ziet nu op het scherm een verticale lijn waarvan de amplitude periodiek groter en kleiner wordt.

- Regel de frequentie van de generatorspanning in de buurt van 50 Hz tot de lengte van de lijn niet of nauwelijks verandert. De frequentie van de generatorspanning is nu gelijk aan de netfrequentie. (Op het volgende blad zullen we dit aantonen).

- Lees de ingestelde frequentie op de generator af.

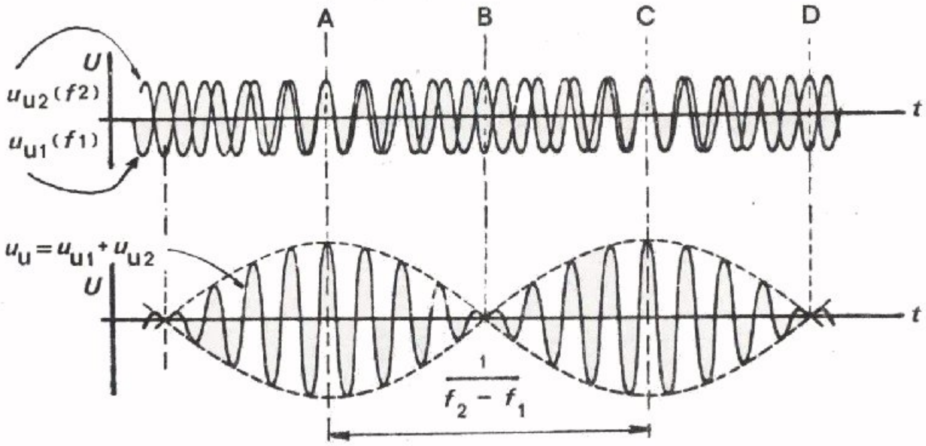
Deze is f = [Hz] .

Stel dat de netfrequentie precies 50 Hz is. De afwijking van de frequentieschaal van de generator is dan

[+ / -] [%].

TOELICHTING VAN OPDRACHT 1

In de vorige opdracht hebben we twee sinusvormige spanningen met ongeveer gelijke amplituden en ongeveer gelijke frequenties opgeteld. We gaan nu eens na wat er bij zo'n optelling eigenlijk gebeurt.



- In het bovenste tijddiagram zijn de uitgangsspanning u_{u1} en u_{u2} afgebeeld. Deze zijn het gevolg van twee ingangsspanningen u_{i1} resp. u_{i2}. In deze tekening is de frequentie van u_{u1} (f_1) iets lager dan de frequentie van u_{u2} (f_2). Ga dit voor jezelf na.
- Op het moment A zijn u_{u1} en u_{u2} beide maximaal positief. Op dat moment is u_u dus ook maximaal. Op het tijdstip B is u_{u1} tegengesteld aan u_{u2}. u_u is dan minimaal. De amplitude van de totale uitgangsspanning varieert dus periodiek tussen een minimale en een maximale waarde. Dit hebben we ook ervaren tijdens onze meting.
- In het tijdsbestek tussen A en C is de ene spanning (u_{u2}) precies *één periode* uitgelopen op de andere spanning (u_{u1}). Is het frequentieverschil van u_{u1} en u_{u2} bijv. 3 Hz, dan is de tijd tussen twee maxima dus $\frac{1}{3}$ s. De frequentie waarin de amplitude van u_u varieert is dan 3 Hz. We kunnen dus vaststellen dat de frequentie van de "zweving" van u_u gelijk is aan het frequentie*verschil* van u_{u1} en u_{u2}.
- Als de amplitude van u_u zeer langzaam verandert, is het frequentieverschil van u_{u1} en u_{u2} gering.
- Als de amplitude van u_u constant blijft, is de frequentie van u_{u1} exact gelijk aan die van u_{u2}.

OEFENING:

Twee sinusvormige spanningen u_{i1} en u_{i2} worden opgeteld in een mengschakeling. De uitgangsspanning u_u wordt afgebeeld op het scherm van een oscilloscoop. Men constateert dan dat de amplitude van u_u na iedere 5 s minimaal is.

- hoe groot is het frequentieverschil van u_{i1} en u_{i2} ?

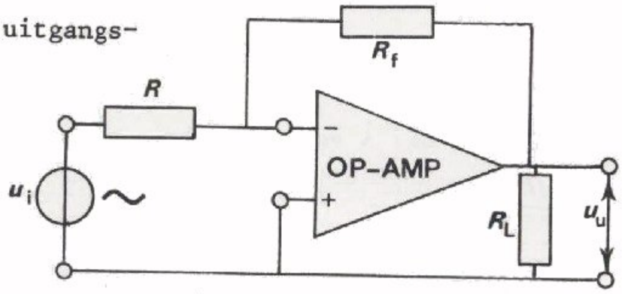
Frequentieverschil: [   ] Hz

OPTELLEN MET BEHULP VAN EEN OPERATIONELE VERSTERKER.

In les C8 hebben we kennis gemaakt met de operationele versterker. In die les hebben we ervaren dat een op-amp voor diverse doeleinden kan worden gebruikt.

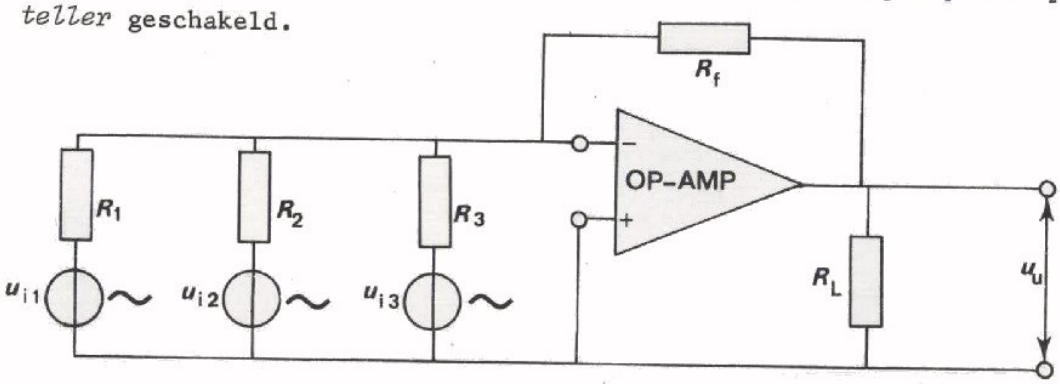
Als *omkeer-versterker* is de uitgangsspanning gelijk aan:

$$u_u = -\frac{R_f}{R}\, u_i$$



De "-" geeft aan dat u_u in tegenfase is met u_i.

Een op-amp is ook bijzonder geschikt voor het uitvoeren van rekenkundige "operaties" (bewerkingen). In onderstaande figuur is de op-amp als *opteller* geschakeld.



De uitgangsspanning u_u kan men als volgt berekenen:

u_u t.g.v. u_{i1} : $\quad u_{u1} = -\frac{R_f}{R_1} \cdot u_{i1}$

u_u t.g.v. u_{i2} : $\quad u_{u2} = -\frac{R_f}{R_2} \cdot u_{i2}$

u_u t.g.v. u_{i3} : $\quad u_{u3} = -\frac{R_f}{R_3} \cdot u_{i3}$

De totale uitgangsspanning is gelijk aan:

$$u_u = u_{u1} + u_{u2} + u_{u3} = -\frac{R_f}{R_1}u_{i1} - \frac{R_f}{R_2}u_{i2} - \frac{R_f}{R_3}u_{i3}$$

dus $$u_u = -R_f\left(\frac{u_{i1}}{R_1} + \frac{u_{i2}}{R_2} + \frac{u_{i3}}{R_3}\right)$$

Als $R_1 = R_2 = R_3 = R$, dan is u_u evenredig met de *som* van de ingangsspanningen.

$$u_u = -\frac{R_f}{R}(u_{i1} + u_{i2} + u_{i3})$$

$\frac{R_f}{R}$ is de versterking van de schakeling met op-amp.

HET OPTELLEN VAN SINUSVORMIGE SPANNINGEN.

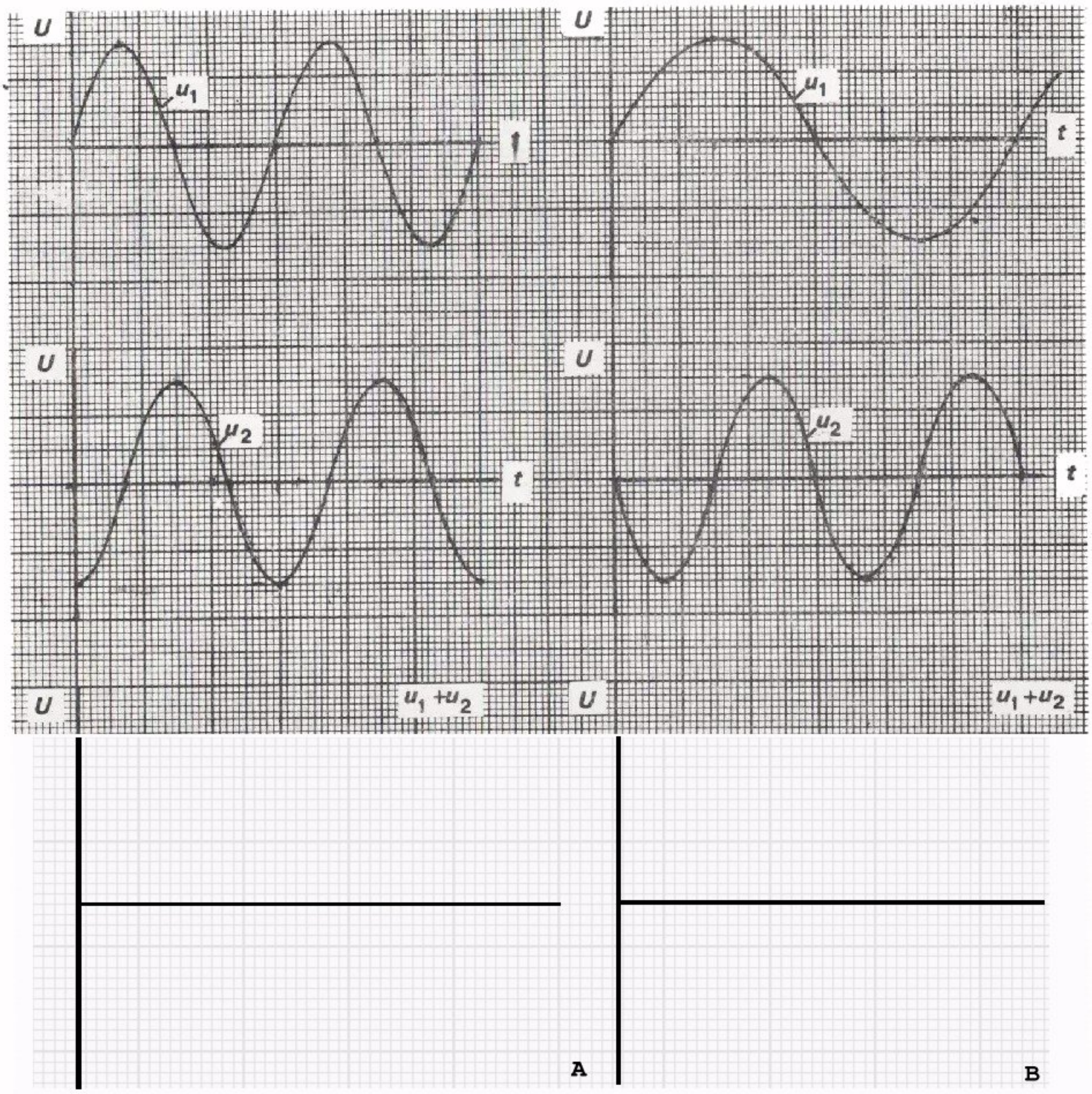
Aan de hand van een oefening zullen we nagaan hoe de uitgangsspanning van een optelschakeling verloopt:

a. Bij sinusvormige ingangsspanningen met *gelijke* frequenties.

b. Bij sinusvormige ingangsspanningen waarvan de frequenties een bepaalde gehele factor uit elkaar liggen.

OEFENING.

Schets bij A en B het verloop van $u_1 + u_2$.



Conclusies:

- de som van 2 sinusvormige spanningen met *gelijke* frequenties is **wel / niet** een sinusvormige spanning.
- de som van 2 sinusvormige spanningen met *ongelijke* frequenties is **wel / niet** een sinusvormige spanning.

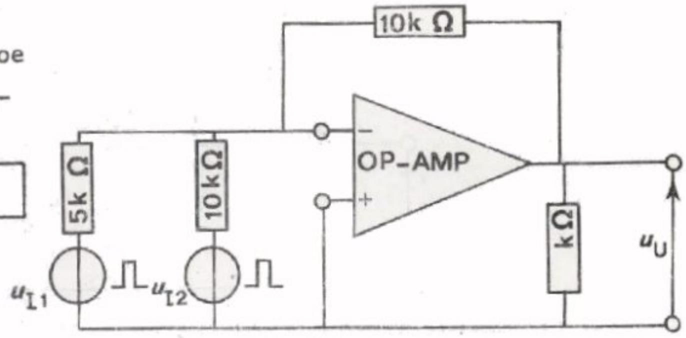
HET OPTELLEN VAN KANTEELVORMIGE SPANNINGEN.

Uit de volgende oefening zullen we zien hoe men m.b.v. een optelschakeling een trapvormige spanning kan verkrijgen.

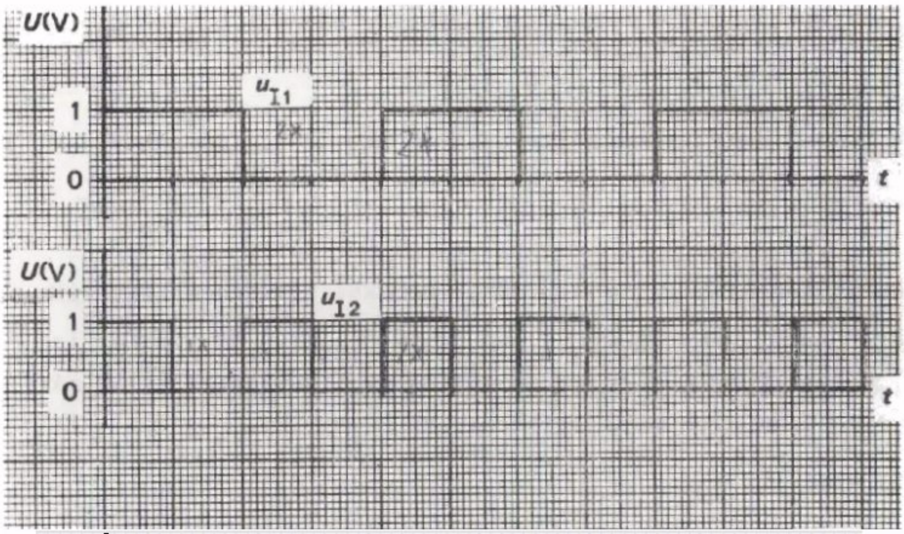
OEFENING.

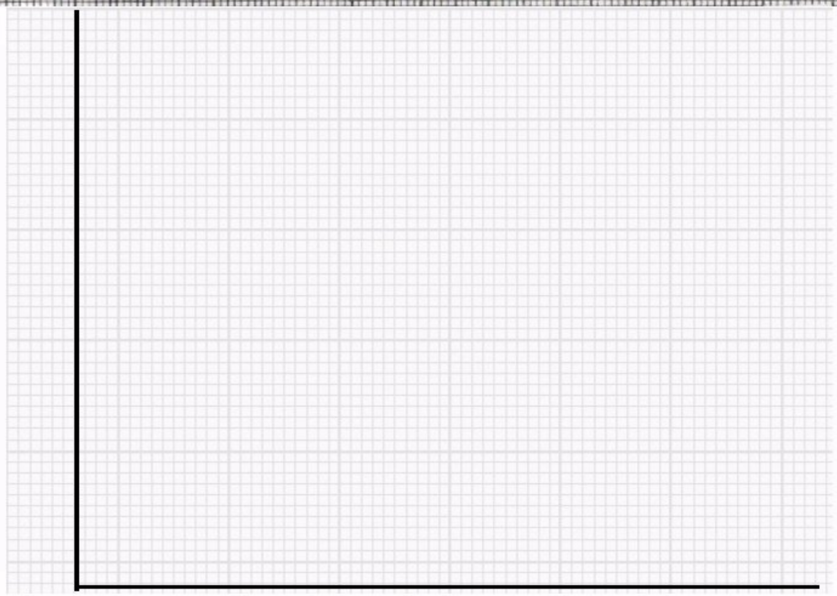
Geef in een formule weer hoe de overdracht is van nevenstaande optelschakeling.

u_u =



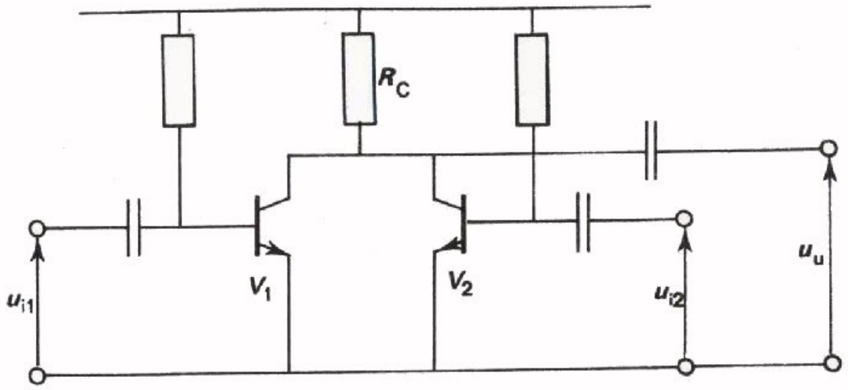
Teken hieronder het verloop van de uitgangsspanning u_U. (Denk ook aan de polariteit van u_U!).





NOG EEN ANDERE OPTELSCHAKELING.

Hieronder is nog een andere veel gebruikte optelschakeling afgebeeld.



De werking van deze schakeling is vrij eenvoudig. De ene spanning u_{i1} beïnvloedt de stroom door de transistor V_1. De andere spanning u_{i2} beïnvloedt de stroom door V_2. Beide stromen vloeien gelijktijdig door de gemeenschappelijke collectorweerstand R_C. Over R_C ontstaat dan een wisselspanning die evenredig is met de *som* van u_{i1} en u_{i2}.

$$u_u = - S \cdot R_C \cdot (u_{i1} + u_{i2})$$

We hebben hierbij aangenomen dat de steilheid (S) van V1 gelijk is aan die van V2.

OEFENING.

Aan de ingangen van bovenstaande schakeling worden twee sinusvormige spanningen toegevoerd $U_{i1t} = 3$ mV en $U_{i2t} = 4$ mV. Verder is $f_1 = f_2$. De steilheid van de gebruikte transistors is 50 mA/V. De gemeenschappelijke collectorweerstand $R_C = 1$ kΩ.

Hoe groot is u_u ?

a. Als u_{i1} in fase is met u_{i2}. U_{ut} = [mV]

b. Als u_{i1} in tegenfase is met u_{i2}. U_{ut} = [mV]

c. Als u_{i1} 90° in fase is verschoven t.o.v. u_{i2}. U_{ut} = [mV]

Verloopt u_u sinusvormig ?

in geval a: [ja / neen]

in geval b: [ja / neen]

in geval c: [ja / neen]

AFTREKSCHAKELINGEN

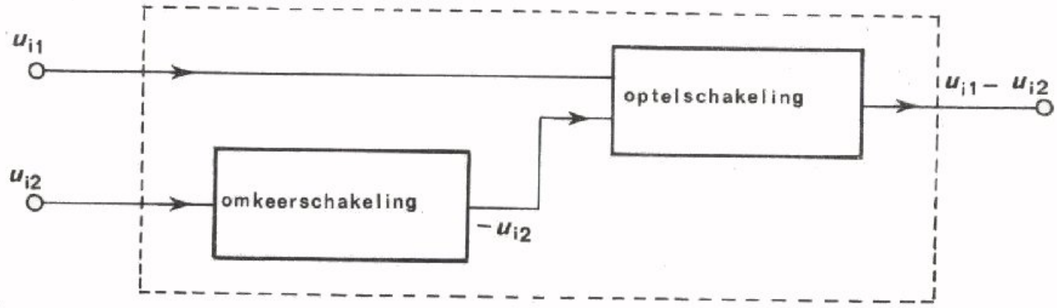
Uit de algebra weten we dat:

A - B = A + (-B)

Evenzo geldt:

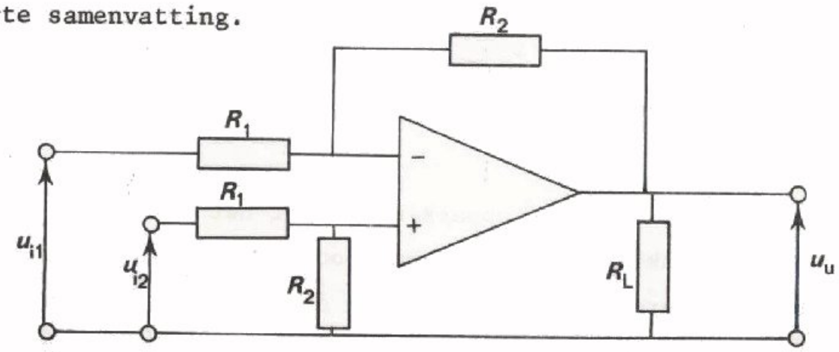
$u_{i1} - u_{i2} = u_{i1} + (-u_{i2})$

We kunnen dus een spanning u_{i2} aftrekken van een andere spanning u_{i1}, door $-u_{i2}$ *op te tellen* bij u_{i1}. Dit is elektronisch te verwezenlijken door middel van een combinatie van een omkeerschakeling en een optelschakeling.



Als omkeerschakeling is een GES (gemeenschappelijke emitter-schakeling) goed bruikbaar. Dit type schakeling levert immers een uitgangsspanning die 180° in fase verschoven is t.o.v. het ingangssignaal. Gangbare optelschakelingen hebben we in het voorgaande reeds behandeld.

Het verschil tussen twee signalen kan men óók realiseren m.b.v. een *operationele versterker*. Ofschoon de op-amp als verschilversterker al eens eerder aan de orde is geweest (C8), geven we hiervan toch nog even een korte samenvatting.

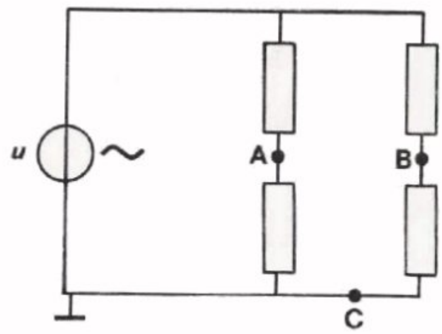


De spanningen waarvan het verschil moet worden bepaald, worden via gelijke weerstanden aan de ingangen van de op-amp gelegd. De uitgangsspanning is dan gelijk aan:

$$u_u = \frac{R_2}{R_1} (u_{i2} - u_{i1})$$

Hierin is $\frac{R_2}{R_1}$ de versterking van de operationele versterker.

HOE KAN MEN EEN SPANNINGSVERSCHIL METEN TUSSEN NIET-GEAARDE PUNTEN ?



Hiernaast zijn twee parallel geschakelde spanningsdelers getekend. De bedoeling is het spannings*verschil* u_{ab} te meten. De punten A en B liggen *vrij* van aarde.

Hoe kunnen we te werk gaan ?

1. Door u_{ac} en u_{bc} apart te meten en deze meetresultaten van elkaar af te trekken.
2. Door het spanningsverschil u_{ab} direct te meten.
3. Door u_{ab} via een operationele versterker te meten.

We zullen elk van deze methoden nog eens nader onder de loep nemen.

METHODE 1

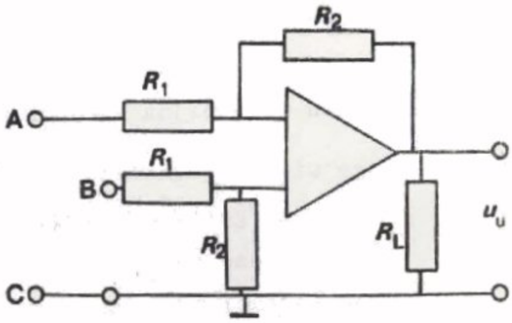
Deze methode is nagenoeg onbruikbaar voor het geval dat u_{ac} ongeveer gelijk is aan u_{bc}. Een verschil van bijv. 10 V en 9,9 V kan men op een kathodestraalbuis immers helemaal niet, en op een meterschaal nauwelijks waarnemen. Deze manier van meten is trouwens altijd af te raden, ook al zou het verschil van U_{ac} en U_{bc} wél afleesbaar zijn. Het volgende voorbeeld moge dit verduidelijken. Stel dat U_{ac} = 10 V en U_{bc} = 8 V. Stel dat verder deze spanningen worden gemeten m.b.v. een 10-V-meter met een nauwkeurigheid van 5% van *volle* schaalwaarde. De mogelijke fout op elk deel van de schaal is dan 5% van 10 V = 0,5 V. Bij het meten van u_{ac} kan de uitslag dus 10,5 V zijn. Men meet dan een spanningsverschil van 10,5 - 7,5 = 3 V, terwijl dit in werkelijkheid 2 V is. De meetfout is dus 1 V of 50% van de te meten waarde.

METHODE 2:

Bij gebruik van een meetapparaat dat uit het net wordt gevoed, is een van de ingangsklemmen geaard. Daar ook de spanningsbron u (zie fig.) aan aarde ligt, wordt tijdens de meting één van de weerstanden kortgesloten (Ga dit voor jezelf na). Bij gebruik van een meetapparaat dat niet is geaard, kunnen toch moeilijkheden ontstaan. We hebben al eens eerder opgemerkt dat tussen twee "zwevende" punten bijna altijd stoorspanningen aanwezig zijn. Een meter zal t.g.v. dit soort storingen foutief gaan aanwijzen.

METHODE 3

Het meten van u_{ab} met behulp van een operationele versterker is aan te bevelen. Ten opzichte van methode 1 hebben we het voordeel dat uitsluitend het gevraagde spannings*verschil* wordt gemeten.



$$u_u = \frac{R_2}{R_1} \cdot u_{ab}$$

De voordelen t.o.v. methode 2 zijn:

- men meet een *hoge* spanning, nl. *versterking* maal u_{ab}. Dit is belangrijk bij een kleine u_{ab}.
- men meet hier spanning t.o.v. *aarde*. Bromstoringen worden zodoende tot een minimum beperkt.

OPDRACHT 2: HET METEN VAN SPANNING TUSSEN NIET-GEAARDE PUNTEN.

In deze opdracht gaan we in een praktische situatie ervaren hetgeen op het voorgaande blad is beweerd. We meten op diverse manieren het verschil tussen twee bijna even grote wisselspanningen.

Deze wisselspanningen nemen we af van twee "gelijke" spanningsdelers die op eenzelfde wisselspanning zijn aangesloten. We gaan u_{ab} meten. Als alle weerstanden *exact* 1 kΩ zijn. dan is u_{ab} = [V] .

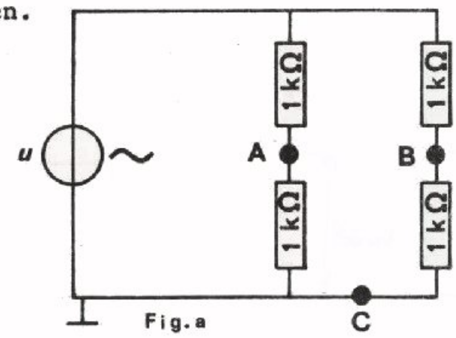


Fig.a

Daar praktische weerstanden een zekere tolerantie hebben, zal u_{ab} bij onze meting een iets andere waarde hebben dan hier is berekend.

We gebruiken bij onze meting o.a. een op-amp die als verschilversterker is geschakeld.

R_1 = 10 kΩ, R_2 = 100 kΩ, R_L = 15 kΩ

Dan is: u_u = [ ] x u_{ab}.

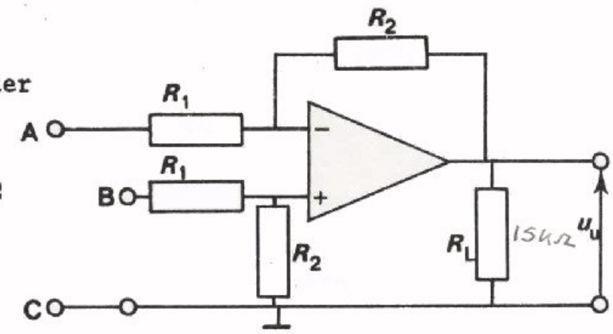


Fig. b

In fig. a ziet men, dat de *weerstand* tussen de punten A en C en ook tussen de punten B en C gelijk is aan 1 kΩ parallel aan 1 kΩ; d.i. 500 Ω. Als de punten A, B en C van fig. a worden doorverbonden met de gelijknamige punten van fig. b komt de weerstand van 500 Ω in serie met R_1 van de op-amp. De versterking van de op-amp zal daarom iets lager uitvallen dan hierboven is berekend.

De operationele versterker moet worden gevoed met +15 V ën -15 V. Deze twee spanningen worden verkregen d.m.v. twee weerstanden van 100 Ω die tussen de + en de - van een gelijkspanningsapparaat zijn geschakeld. De uitgangsspanning van het voedingsapparaat moet men instellen op U_U = [V]

Op het volgende blad is de meetprocedure beschreven.

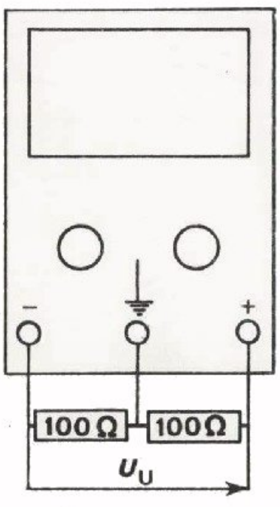
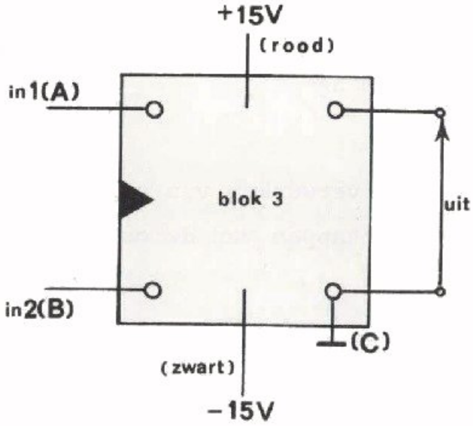


Fig. c

MEETPROCEDURE.

- Monteer de schakeling volgens fig.a (zie pag.16) links op Uw paneel. Plaats de schakeling volgens fig.b aan de rechterkant. Gebruik de operationele versterker van blok 3.



- Verbind de punten A, B en C van schakeling a met de overeenkomstige punten van schakeling b.
- Neem voor de spanning u (fig.a) een sinusvormige spanning van ca. 10 V (effectieve waarde) frequentie 1000 Hz.
- Sluit de voedingsspanningen +15 V en -15 V aan. Verbind de "aarde" van het voedingsapparaat (zie fig.c) met de "aarde" van de schakeling.
- Tracht eerst het spanningsverschil u_{ab} te bepalen door achtereenvolgens u_{ac} en u_{bc} te meten en deze meetresultaten van elkaar af te trekken. Gebruik hierbij een oscilloscoop.
- Is deze meting erg nauwkeurig ? | ja / neen |
- Het spanningsverschil u_{ab} direct meten met oscilloscoop lukt niet omdat:

- Meet de uitgangsspanning van de op-amp U_{ut} = [V]
- Bereken uit dit meetresultaat het spanningsverschil tussen A en B.

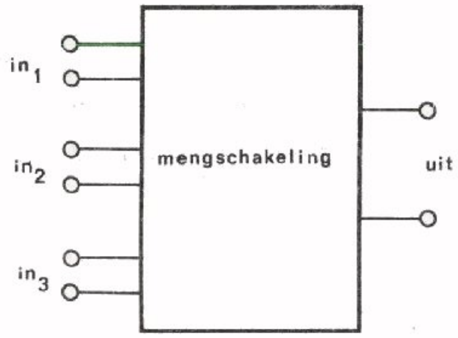
  $U_{ab(t)}$ = [mV]
- Maak de oscilloscoop even vrij van aarde en meet u_{ab} direct.

  Komt dit resultaat overeen met het vorige ? | ja / neen |

  Merk op dat het oscillogram enigszins wordt vertroebeld door bromstoringen.
- Waarschuwing:

  Meetapparaten die uit het net worden gevoed mogen uit veiligheidsoverwegingen niet vrij van aarde worden gebruikt.

SAMENVATTING



- Deze les handelt over de functie *mengen*.
- Mengschakelingen zijn uitgerust met meer dan één ingang waaraan men de te mengen signalen toevoert. Ze hebben één uitgang waarvan men het mengresultaat afneemt.
- Onder mengen verstaan we het verwerken van een aantal signalen tot één mengsignaal waarin de eigenschappen van de oorspronkelijke signalen herkenbaar zijn.
- De belangrijkste eigenschappen van mengschakelingen zijn:
  - de ingangsweerstand van elk van de ingangen
  - de uitgangsweerstand
  - de overdracht.
- In de les zijn een aantal optelschakelingen en aftrekschakelingen aan de orde geweest. Bij optelschakelingen is de uitgangsspanning evenredig met de som van de ingangsspanningen. Bij aftrekschakelingen is de uitgangsspanning evenredig met het verschil van de twee ingangsspanningen.
- Voor het optellen van spanningen kan men gebruik maken van:
  - spanningsdelers met weerstanden(passieve optelschakelingen)
  - optelversterkers (actieve optelschakelingen).

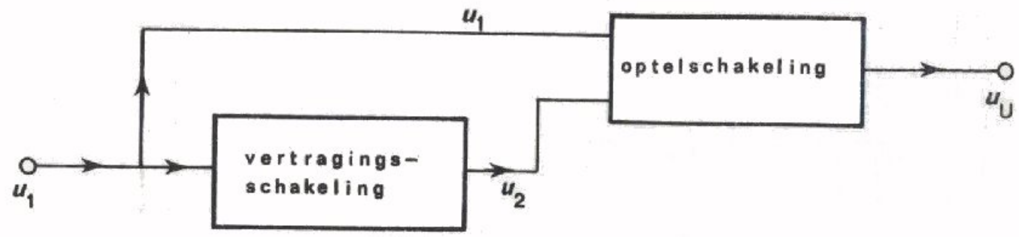
  Bij eerstgenoemde worden de ingangssignalen verzwakt. Bij laatstgenoemde kan naast optelling tevens versterking plaatsvinden. De operationele versterker is bijzonder geschikt voor het optellen van spanningen.
- Door optelling van twee sinusspanningen met bijna gelijke frequenties ontstaan "zwevingen". Het aantal zwevingen per seconde is gelijk aan het frequentieverschil van beide signalen.
- De som (resp. het verschil) van twee sinusvormige spanningen met *ongelijke* frequenties verloopt niet sinusvormig.
- Voor het aftrekken van spanningen kan men gebruik maken van:
  - een omkeerschakeling met een optelschakeling.
  - een verschilversterker.
- Voor het bepalen van het verschil tussen twee geaarde spanningen is een als verschilversterker geschakelde op-amp bij uitstek geschikt.
- Als men de resultaten van twee spanningsmetingen van elkaar aftrekt, kan dit verschil bijzonder veel afwijken van het werkelijke verschil.
- Bij spanningsmetingen tussen twee punten die vrij van aarde liggen ontstaan gemakkelijk meetfouten t.g.v. stoorsignalen.

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

1.

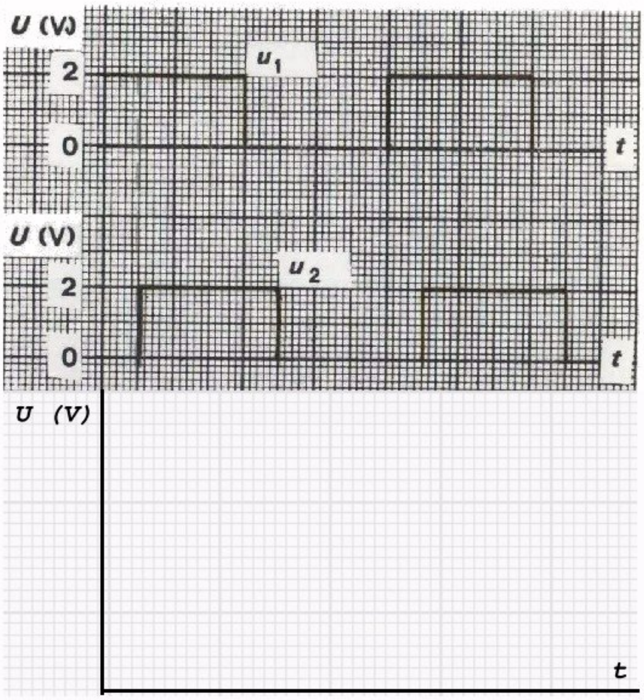


De ingangsspanning u_1 en de uitgangsspanning u_2 van een vertragingsschakeling worden toegevoerd aan een optelschakeling.

- teken hiernaast het verloop van u_u.

  Van de optelschakeling is bekend dat:

  $u_U = \frac{1}{2}(u_1 + u_2)$



De spanning u_U wordt toegevoerd aan een oscilloscoop.

- Uit welke delen van het oscillogram kan men de vertragingstijd tussen u_1 en u_2 bepalen ?

  Geef dit met dikke lijnen in de door U getekende figuur aan.

2. Van een aftrekschakeling (verschilversterker) is gegeven dat:

$U_{PQ} = 5000\ (U_{AC} - U_{BC})$

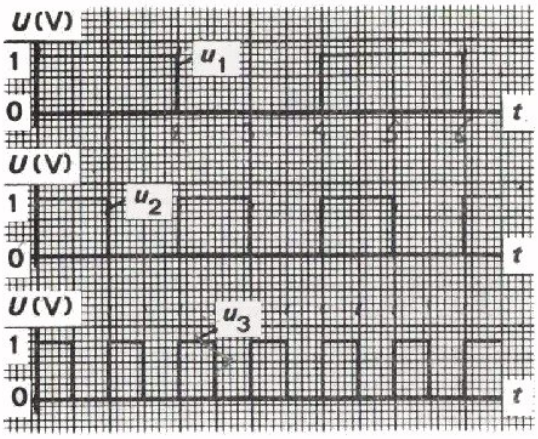
$U_{PQ} = -\ 10\ V$

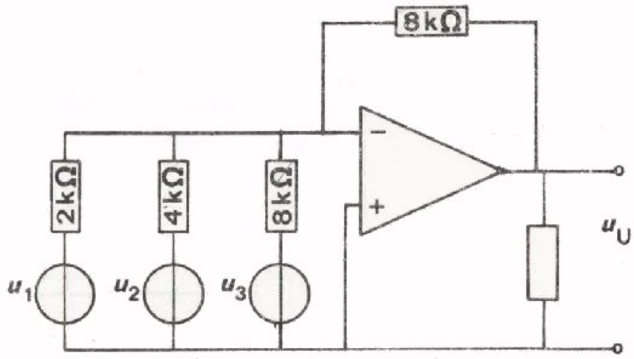


Vul in:

U_{AC} is groter/kleiner dan U_{BC}

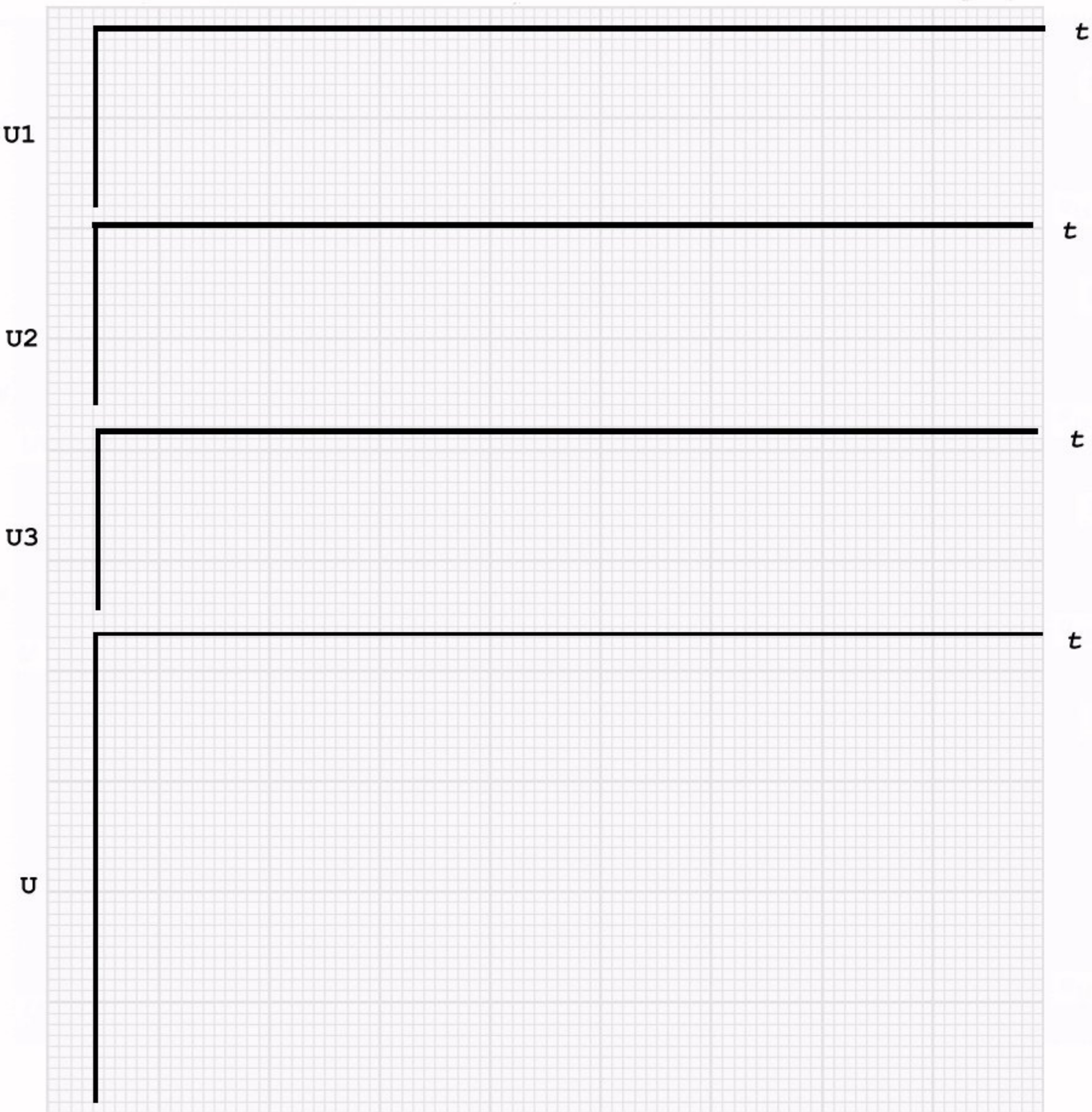
Het verschil tussen U_{AC} en U_{BC} is ______ mV





Drie kanteelvormige spanningen u_1, u_2 en u_3 met een topwaarde van 1 V worden m.b.v. een operationele versterker opgeteld.

- Teken hieronder het verloop van de uitgangsspanning u_{U1} van de op-amp t.g.v. alleen u_1, u_{U2} t.g.v. alleen u_2 en u_{U3} t.g.v. alleen u_3.
- Teken vervolgens het verloop van de totale uitgangsspanning u_U.



C 32

MENGSCHAKELINGEN II

ENIGE BIJZONDERE MENGSCHAKELINGEN

DE BELANGRIJKSTE PUNTEN UIT DE VOORGAANDE LES.

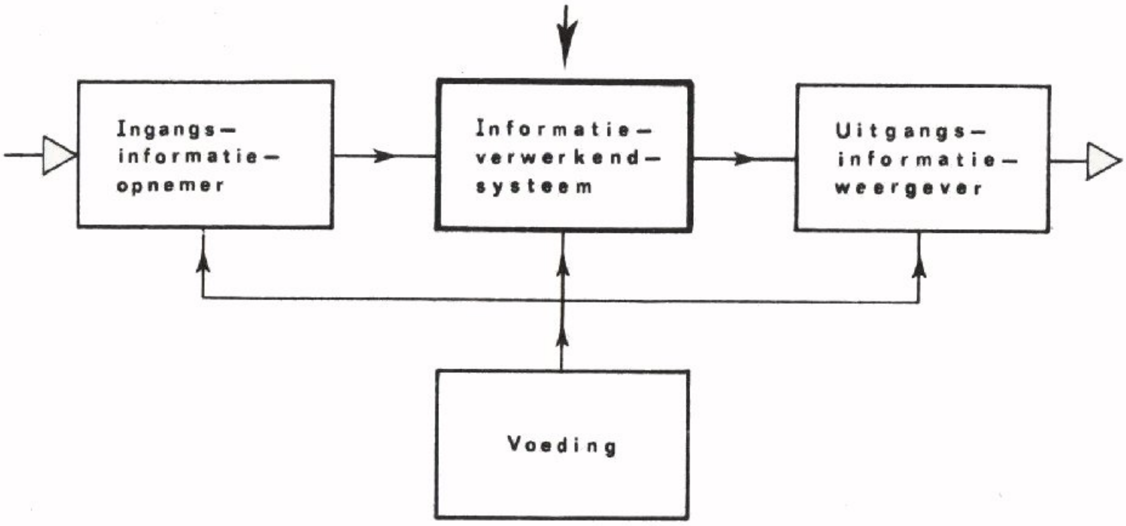
- In de vorige les zijn we gestart met de functie *mengen*.
- Onder "mengen" verstaan we : het verwerken van twee of meer ingangssignalen tot één uitgangssignaal. Het uitgangssignaal bevat kenmerken van de ingangssignalen. Mengschakelingen zijn dus "kastjes" met meer dan één ingang en één uitgang.
- De belangrijkste eigenschappen van mengschakelingen zijn:
  - de ingangsweerstanden
  - de uitgangsweerstand
  - de overdracht.
- De volgende mengschakelingen zijn behandeld:
  - optelschakelingen
  - aftrekschakelingen

WELKE ONDERWERPEN KOMEN IN DEZE LES AAN DE ORDE ?

In deze les gaan we enige mengschakelingen onder de loep nemen. Achtereenvolgens worden behandeld:

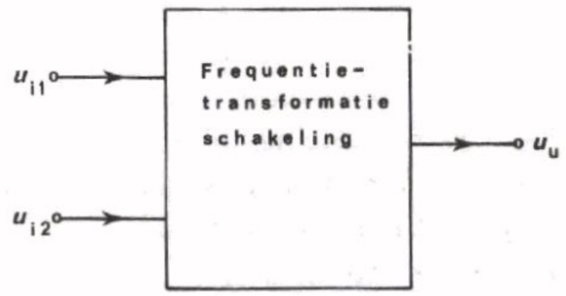
- Een frequentie-transformatie-schakeling.
  Dit soort schakelingen wordt veelvuldig gebruikt als men een signaal met een bepaalde frequentie wil "transformeren" tot eenzelfde signaal met een willekeurig hogere of lagere frequentie. In alle radio- en TV-ontvangers komen één of meer van dergelijke schakelingen voor.
- Poortschakelingen.
  Deze schakelingen past men toe in die gevallen waarbij een signaal op "commando" al of niet moet worden doorgelaten. Toepassingen vindt men zowel in de analoge techniek als in de digitale techniek.
- Modulatieschakelingen.
  Dit zijn schakelingen waarmee AM- resp. FM-signalen worden opgewekt. Dit gebeurt o.a. in radio- en TV-zenders.

DE PLAATS VAN MENGSCHAKELINGEN IN EEN ANALOOG SYSTEEM.



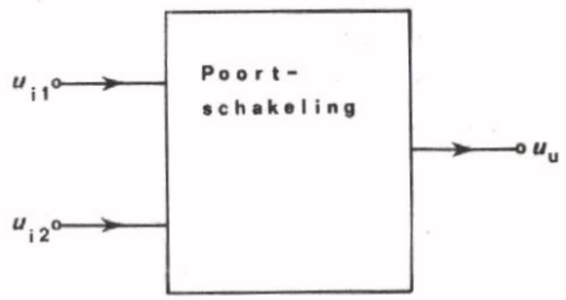
DE MENGSCHAKELINGEN DIE BEHANDELD WORDEN

A. Frequentietransformatie-schakelingen.



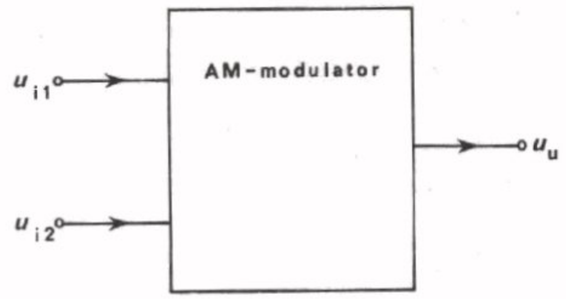
De *frequentie* van de uitgangsspanning u_u is gelijk aan de *som* of het *verschil* van de frequenties van de ingangsspanningen u_{i1} en u_{i2}.

B. Poortschakelingen.



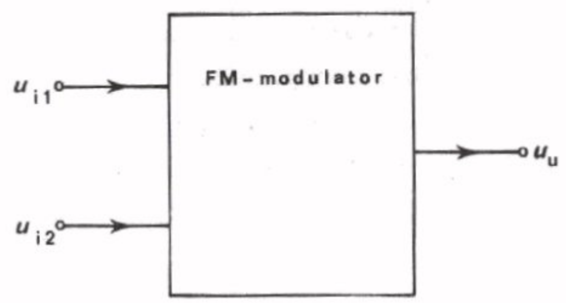
Met behulp van het ene ingangssignaal (bijv. u_{i2}) wordt de schakeling zodanig ingesteld dat het andere ingangssignaal (u_{i1}) wêl of niet wordt doorgelaten. De uitgangsspanning u_u bestaat dus uit delen van u_{i1}.

C. AM-modulator



Het ene ingangssignaal is *hoog*frequent
Het andere ingangssignaal is *laag*frequent. De *amplitude* van de uitgangsspanning varieert in het ritme van u_{lf}.

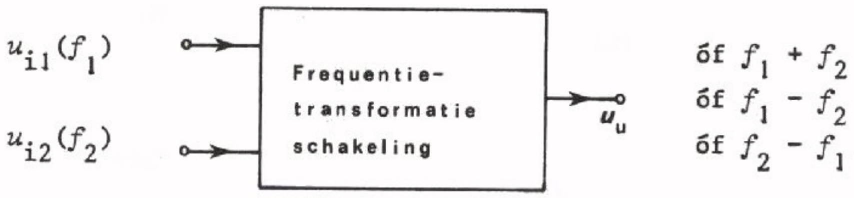
D. FM-modulator



Ook hier twee ingangssignalen; een *hoog*frequent en een *laag*frequent. De *frequentie* van de uitgangsspanning varieert in het ritme van u_{lf}.

FREQUENTIE-TRANSFORMATIE.

In de elektronica komt het nogal eens voor dat de frequentie van een signaal naar een hogere of naar een lagere waarde moet worden gebracht. Als we de frequentie van een signaal met een *geheel* getal willen vermenigvuldigen (bijv. van 10 kHz naar 50 kHz) dan maken we gebruik van frequentievermenigvuldigers. Deze schakelingen hebben we in C22 behandeld. In dezelfde les hebben we geleerd dat we met deelschakelingen de frequentie van een signaal door een *geheel* getal kunnen delen (bijv. van 50 Hz naar 1 Hz). Soms moet de frequentie van een signaal naar een *willekeurig* hogere of lagere waarde worden "getransformeerd", bijv. van 10 MHz naar 455 kHz of van 10 MHz naar 10,21 MHz. In deze gevallen gebruikt men zogenaamde *frequentie-transformatie* schakelingen. Dit zijn mengschakelingen waarbij de frequentie van de uitgangsspanning gelijk is aan de *som* of het *verschil* van de frequenties van de ingangsspanningen.



OEFENING.

De frequentie van u_{i1} is gelijk aan 10 MHz. Hoe groot moet men de frequentie van u_{i2} maken opdat de frequentie van u_u 455 kHz is ?

Twee waarden: f_2 = [kHz] óf f_2 = [kHz]

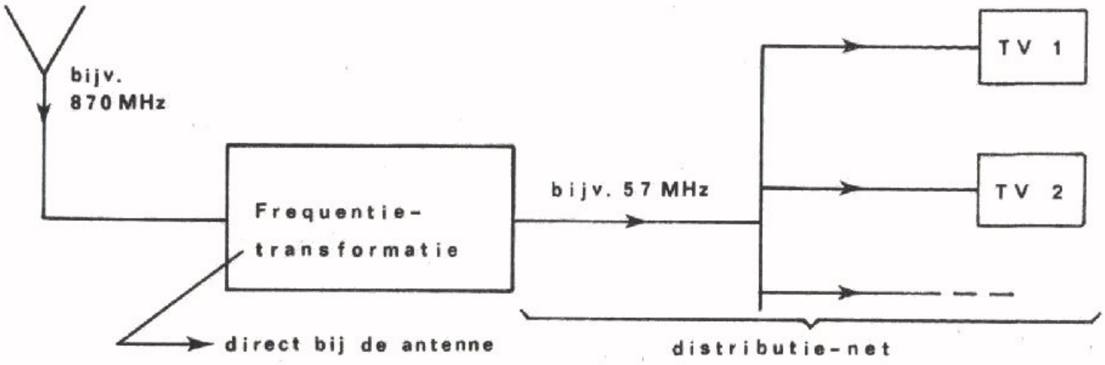
Hoe hoog moet men f_2 kiezen opdat de frequentie van u_u 10,21 MHz is ?

f_2 = [kHz] óf f_2 = [kHz]

EEN TOEPASSING VAN FREQUENTIE-TRANSFORMATIE.

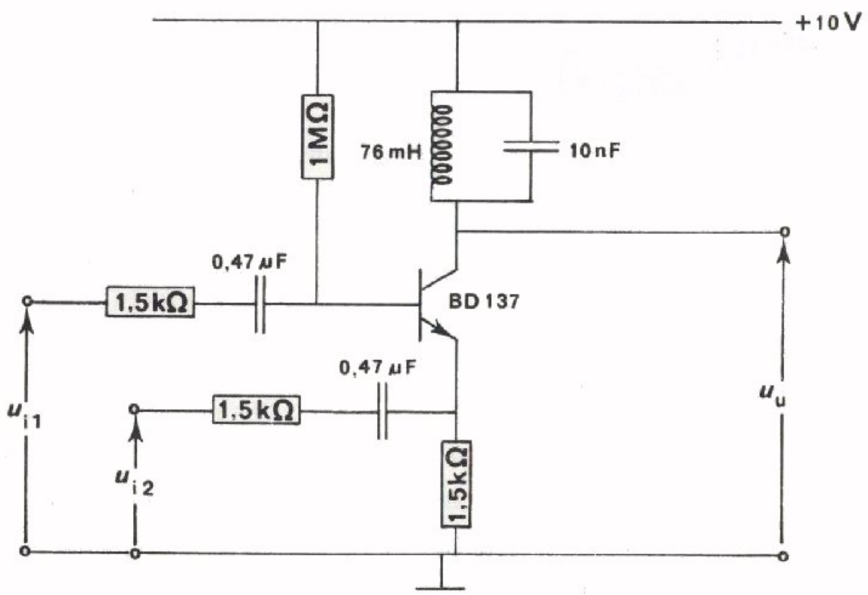
Frequentie-transformatie wordt vaak toegepast bij centrale antenne-systemen voor T.V. Bij deze systemen moet het antennesignaal meestal over betrekkelijk grote afstanden via kabels worden getransporteerd. Dit gaat altijd gepaard met energieverlies vooral bij zeer *hoge* frequenties(zie C29). In de praktijk wordt dit probleem op twee manieren opgelost.

- ȯf zeer dure kabel gebruiken die ook bij zeer hoge frequenties weinig energieverlies veroorzaakt.
- óf transformatie naar een lagere frequentie toepassen, zodat met goedkopere kabel kan worden volstaan.



OPDRACHT 1: HET METEN AAN EEN FREQUENTIE-TRANSFORMATIESCHAKELING.

- Monteer de volgende schakeling op Uw paneel. (De werking van deze schakeling wordt op blad 7 uitgelegd).



- Sluit een voedingsspanning van 10V aan.

- Voer een sinusvormige spanning u_{i1} toe. De frequentie hiervan moet regelbaar zijn tussen 4 kHz en 26 kHz.

- Leg ook een sinusvormige spanning u_{i2} aan. De frequentie van u_{i2} instellen op 20 kHz.

- Meet de uitgangsspanning u_u m.b.v. een oscilloscoop.

- Varieer de frequentie van u_{i1} in de buurt van 26 kHz totdat u_u sinusvormig verloopt. Bepaal de frequentie van u_u f = [kHz]

- Variëer de frequentie van u_{i1} in de buurt van 14 kHz totdat u_u sinusvormig is. Meet opnieuw de frequentie van u_u. f = [kHz]

- Maak de frequentie van u_{i2} 2 kHz. Varieer de frequentie van u_{i1} in de buurt van 4 kHz totdat u_u sinusvormig is. Meet nogmaals de frequentie van u_u. f = [kHz]

<u>Opmerking:</u> De weerstanden van 1,5 kΩ aan de ingangen van de schakeling dienen om te voorkomen dat de spanningsbronnen u_{i1} en u_{i2} te veel worden belast.

CONCLUSIES UIT OPDRACHT 1

Wij hebben bij de metingen van opdracht 1 het volgende geconstateerd :

Frequentie $u_{i1} \simeq$ 26 kHz
Frequentie $u_{i2} \simeq$ 20 kHz } Frequentie u_u : 26 kHz - 20 kHz = 6 kHz

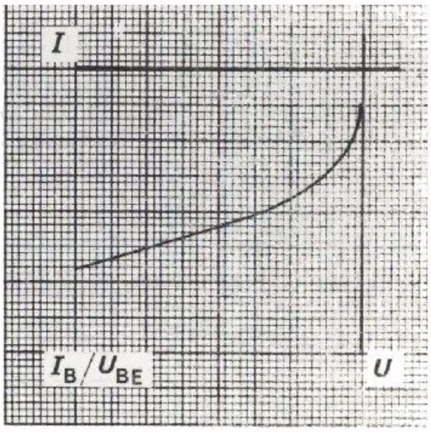
Frequentie $u_{i1} \simeq$ 14 kHz
Frequentie $u_{i2} \simeq$ 20 kHz } Frequentie u_u : 20 kHz - 14 kHz = 6 kHz

Frequentie $u_{i1} \simeq$ 4 kHz
Frequentie $u_{i2} \simeq$ 2 kHz } Frequentie u_u : 2 kHz + 4 kHz = 6 kHz

Conclusie: de schakeling waaraan we gemeten hebben is een frequentietransformator. De frequentie van de uitgangsspanning is gelijk aan de *som* of het *verschil* van de frequenties van de ingangsspanningen.

HOE WERKT DEZE FREQUENTIE-"TRANSFORMATOR" ?

De juiste werking van de schakeling is met de ons ter beschikking staande wiskunde moeilijk uit te leggen. We zullen daarom volstaan met het aantippen van enige belangrijke facetten van de schakeling. Voor de goede werking van de schakeling moet de transistor in het kromme deel van de ingangskarakteristiek worden ingesteld. De ingangskarakteristiek is het meest gebogen bij zeer kleine basisstromen (zie fig.). R_B is daarom hoog (1 MΩ !). Tijdens het mengen van u_{i1} en u_{i2} ontstaan in de collectorleiding een groot aantal sinusvormige stromen met uiteenlopende frequenties. Hieronder zijn ook stromen met de som- en verschilfrequenties van u_{i1} en u_{i2}.



Met behulp van de parallelresonantiekring wordt het signaal met de som óf de verschilfrequenties eruit geselecteerd De frequentie van de uitgangsspanning u_u is in ons geval dus:

$f \simeq$ [ ] kHz

Vergelijk deze frequentie met de gemeten waarden.

OEFENING:

Gegeven: Men wenst een signaal u_{i1} van 10 MHz te transformeren naar 9,8 MHz.

- Hoe hoog moet men de frequentie van u_{i2} kiezen ?
  Twee waarden zijn mogelijk:

f_1 = [ ] MHz

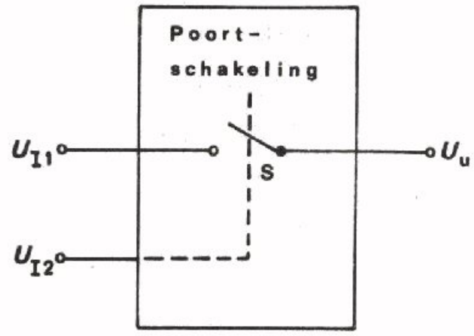
f_2 = [ ] MHz

- Op welke frequentie moet de resonantiekring worden afgestemd ?

f_o = [ ] MHz

POORTSCHAKELINGEN

Het principe van een poortschakeling is hiernaast afgebeeld. M.b.v. een ingangsspanning U_{I2} wordt de schakelaar S geopend resp. gesloten (U_{I2} noemt men de schakelspanning). Bij geopende S wordt het andere ingangssignaal U_{I1} geblokkeerd; als S gesloten is wordt U_{I1} doorgelaten. Voor S gebruikt men een diode of een transistor.



DE WERKING VAN EEN POORTSCHAKELING.

Hieronder is (fig.a.) een eenvoudige poortschakeling getekend.

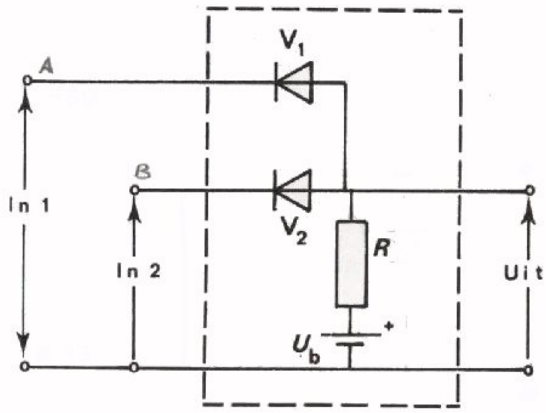


Fig. a

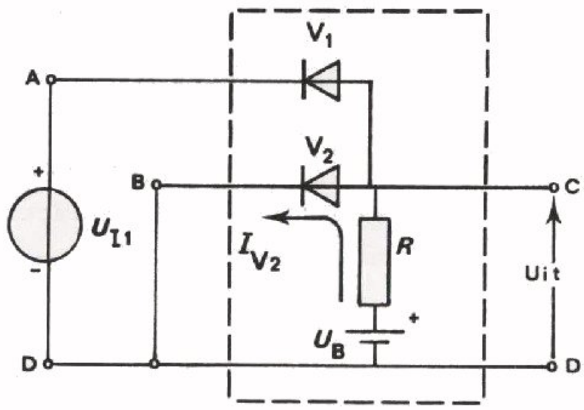


Fig. b

De werking is als volgt:

- Toestand 1 (fig. b): U_{I2} = 0 V (ingang 2 is kortgesloten). In deze situatie vloeit er een stroom door V2 (I_{V2}). Punt C is nu via de geleidende V2 verbonden met de (kortgesloten) ingang 2. De uitgangsspanning U_{CD} is dus 0 V (aannemende dat R_{V2} = 0 Ω). In deze toestand verandert niets als we een zodanige ingangsspanning U_{I1} aanleggen dat punt A steeds positief blijft t.o.v. punt D. Diode V1 blijft dan immers steeds "gesperd".

Conclusie: Als U_{I2} = 0 V wordt U_{I1} (mits deze positief is) *niet* doorgelaten. De uitgangsspanning is 0 V. (Zie verder het volgende blad).

OEFENING

Hoe groot wordt U_{CD} als U_{AD} = -5 V ? (De dioden zijn ideaal)

U_{CD} = [ ] V

VERVOLG BLAD 6: DE WERKING VAN EEN POORTSCHAKELING .

We gaan verder met de werking van de poortschakeling die op blad 6 is afgebeeld (fig.a). We hebben de toestand besproken waarbij ingang 2 was kortgesloten (U_{I2} = 0 V). In deze situatie werd de andere ingangsspanning U_{I1} door de schakeling geblokkeerd. We gaan nu de situatie bespreken waarbij U_{I1} wēl wordt doorgelaten (zie fig. c).

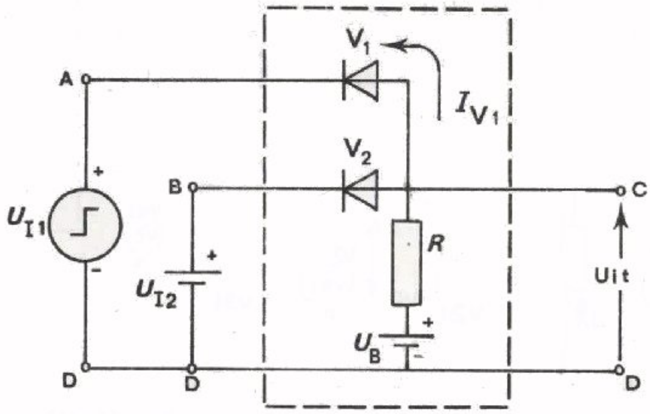


Fig. c

- Toestand 2 (fig.c) $\left\{ \begin{array}{l} U_{AD} \text{ en } U_{BD} \text{ zijn positief} \\ U_{AD} \text{ is kleiner dan } U_{BD} \text{ en } U_b. \end{array} \right.$

In deze situatie vloeit er een stroom door V1 (I_{V1}); V2 is gesperd.

Punt C is nu via de geleidende V1 verbonden met punt A. De uitgangsspanning U_{CD} is dus gelijk aan de ingangsspanning U_{I1}.

Conclusie: Als U_{I2} positief is wordt U_{I1} doorgelaten mits U_{I1} kleiner is dan U_{BD} en U_B.

SAMENVATTEND

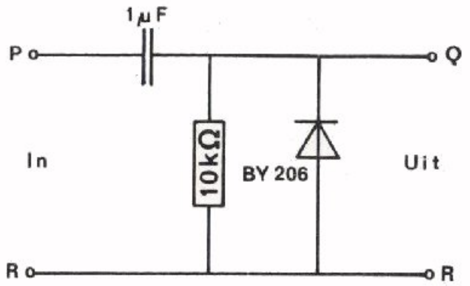
Als we voor U_{I2} een blokspanning nemen die tussen 0 volt en een bepaalde positieve waarde springt, dan wordt U_{I1} gedurende het "0"-niveau geblokkeerd, en gedurende het positieve niveau doorgelaten. U_{I1} moet positief zijn en kleiner dan U_{I2} en U_B.

OEFENING

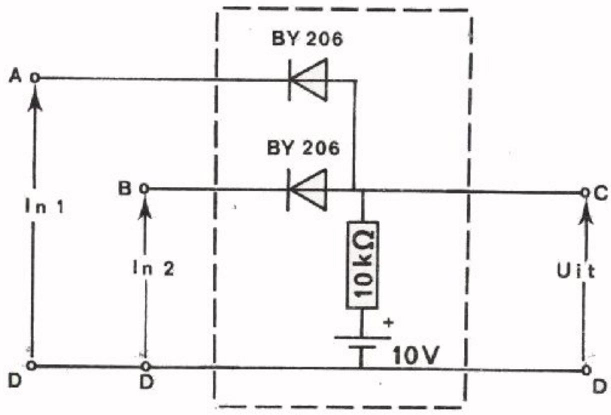
Wat verandert er in bovenstaande schakeling als U_{I1} *groter* wordt dan U_{I2}?
Antwoord:

OPDRACHT 2: METINGEN AAN EEN POORTSCHAKELING.

- Monteer de volgende schakeling op Uw paneel. (Schakeling a links; schakeling b rechts).



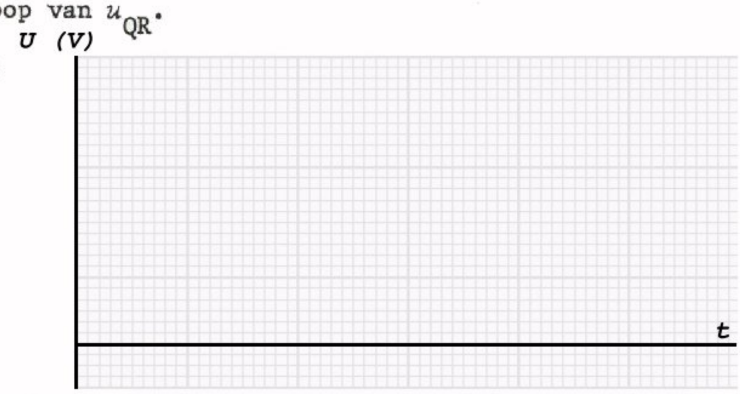
a



b

- Schakeling a is een zogenaamde *clampschakeling*. Deze is in C21 behandeld. We voeren een sinusvormige spanning met een top-top-waarde van ca. 4 V toe aan de punten P en R. De frequentie instellen op ongeveer 1 kHz.

  Meet de uitgangsspanning u_{QR} m.b.v. een oscilloscoop (stand DC). Schets hiernaast het verloop van u_{QR}.



  De polariteit van u_{QR} is :

  O positief

  O positief ēn negatief

  O negatief

- Verbind de uitgang van de clampschakeling met ingang 1 van de poortschakeling (fig.b) Sluit ingang 2 kort.

  Controleer m.b.v. een oscilloscoop (stand AC) of de sinusvormige spanning die tussen P en R is toegevoerd, ook op de uitgang van de poortschakeling verschijnt.

  Antwoord: | ja/neen | .

- Neem de kortsluiting tussen B en D weg. Sluit een gelijkspanning van ca. 10 V tussen B en D aan; maak B positief t.o.v. D.

  Wordt nu de wisselspanning u_{pr} doorgegeven?

  Antwoord: | ja/neen | .

EEN ANDERE POORTSCHAKELING.

Een andere eenvoudige poortschakeling is hieronder afgebeeld (fig.b).

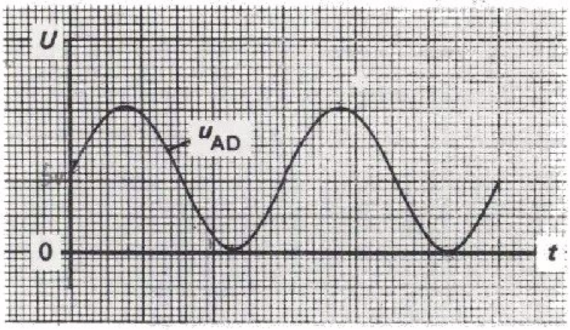


Fig. a

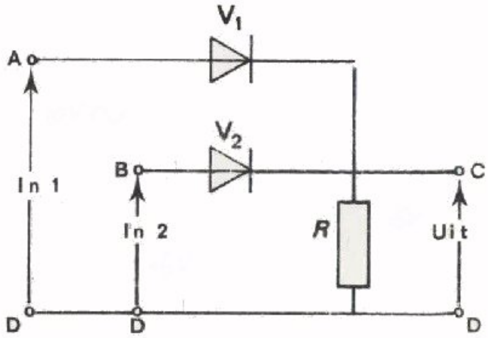


Fig. b

We leggen aan ingang 1 de spanning u_{AD} die in fig. a is afgebeeld.

De werking:

- Toestand 1: ingang 2 kortgesloten (U_{BD} = 0 V).

  In deze situatie vloeit er een stroom door **V1 / V2** , en is de andere diode gesperd.

  Over de weerstand R ontstaat een spanning die overeenkomt met de ingangsspanning **Uad / Ubd** .

- Toestand 2: $U_{BD} > U_{AD(T)}$

  In deze situatie vloeit er een stroom door **V1 / V2** , en is de andere diode gesperd.

  Over de weerstand R ontstaat een spanning die overeenkomt met de ingangsspanning **Uad / Ubd** .

<u>Conclusie:</u>

- Als punt A positiever is dan punt B, dan wordt de spanning van ingang **1 / 2** doorgegeven.
- Als punt B positiever is dan punt A, dan verschijnt er op de uitgang de spanning van ingang **1 / 2** .

OEFENING

In bovenstaande schakeling is $U_{(AD)T}$ = 10 V en U_{BD} = +5 V.

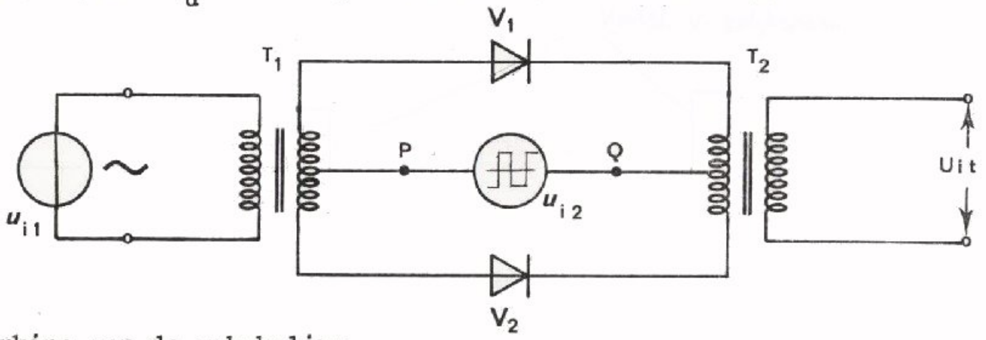
De dioden zijn ideaal.

Schets hiernaast het verloop van u_{CD}.



EEN POORTSCHAKELING MET DIODEN EN TRANSFORMATORS.

Hieronder is een poortschakeling afgebeeld waarin twee dioden V1 en V2 en twee transformators T1 en T2 worden toegepast. Het ene ingangssignaal u_{i1} wordt aan de primaire wikkeling van T1 gelegd. Het andere ingang - signaal u_{i2} voert men toe tussen de middenaftakkingen van T1 en T2. Het uitgangssignaal u_u wordt afgenomen over de secundaire van T2.



De werking van de schakeling.

Gemakshalve nemen we aan dat de schakelspanning u_{i2} kanteelvormig verloopt. u_{i1} is bijv. een sinusspanning.

- Toestand 1: punt P is positief t.o.v. Q.
  In deze situatie zijn zowel V1 als V2 geleidend. T1 is nu "galvanisch" verbonden met T2. Het ingangssignaal u_{i1} wordt dus via T1 en T2 doorgegeven aan de uitgang.
- Toestand 2: punt P is negatief t.o.v. Q.
  In deze situatie zijn beide dioden gesperd. u_{i1} wordt nu door V1 en V2 geblokkeerd.

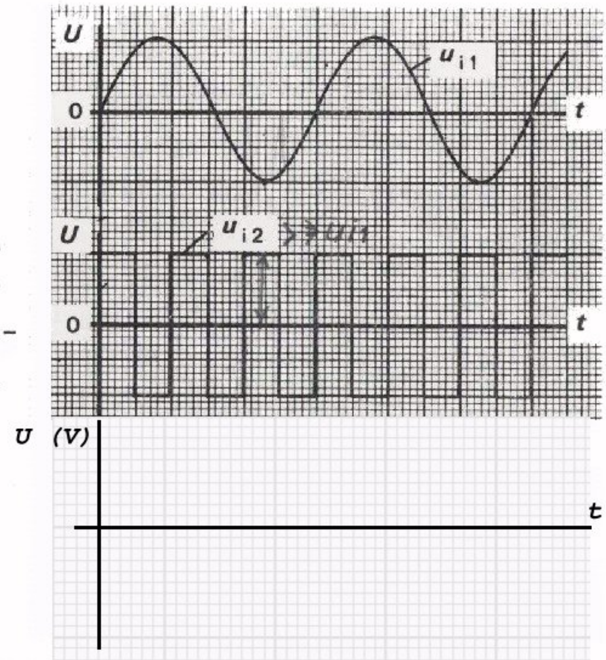
Conclusie: Op de momenten dat P positief is t.o.v. Q wordt u_{i1} doorgelaten; als P negatief is t.o.v. Q wordt u_{i1} geblokkeerd.

OEFENING:

In bovenstaande schakeling verlopen u_{i1} en u_{i2} zoals hiernaast is weergegeven.

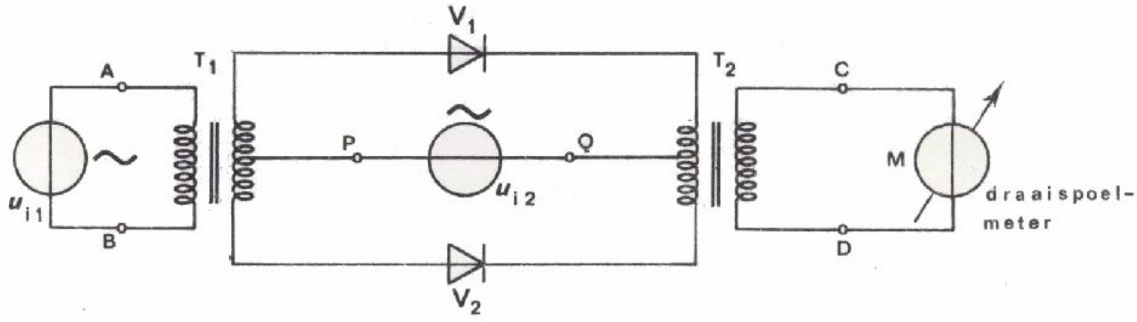
Schets het verloop van u_u.

(U mag hierbij aannemen dat u_{i1} geen fasedraaiing in de schakeling ondervindt. Verder is gegeven dat u_{i2} voldoende groot is om de dioden open en dicht te sturen).



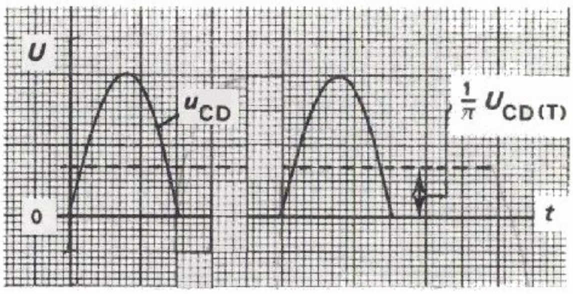
EEN POORTSCHAKELING ALS FASEMETER.

De poortschakeling die op blad 10 is behandeld, kunnen we als fasemeter gebruiken. Een fasemeter is een meetapparaat waarmee het faseverschil tussen twee sinusvormige spanningen kan worden bepaald. Hieronder is de schakeling getekend.

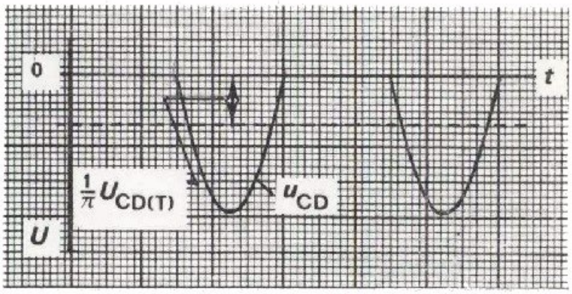


De werking van de schakeling:

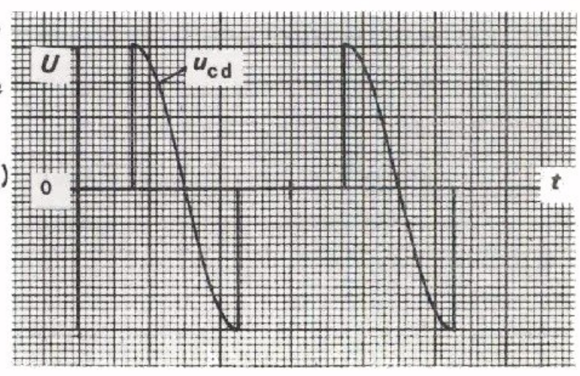
- Situatie 1: u_{ab} in *fase* met u_{pq}.
Gedurende de positieve delen van u_{pq} staat de schakeling open. Daar de positieve delen van u_{pq} en u_{ab} samenvallen, ontstaat een uitgangsspanning zoals hiernaast is afgebeeld. De draaispoelmeter reageert op de gemiddelde waarde van u_{CD}.
(uitslag: $\frac{1}{\pi} U_{CD(T)}$).



- Situatie 2: u_{ab} in *tegenfase* u_{pq}.
Nu worden alleen de negatieve delen van u_{ab} doorgegeven. De uitslag van de meter is gelijk aan die van situatie 1; de polariteit is evenwel omgekeerd.
(uitslag: $- \frac{1}{\pi} U_{CD(T)}$).

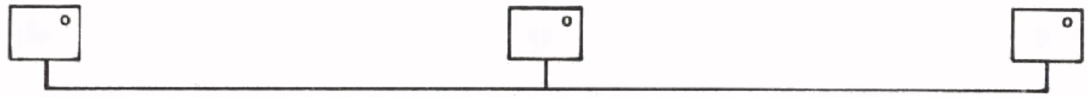


- Situatie 3: u_{ab} 90^0 uit fase met u_{pq}.
De helft van het positieve deel en de helft van het negatieve deel van u_{ab} komen op de uitgang terecht (zie fig.) De gemiddelde waarde van u_{cd} is dan nul (meteruitslag: 0).



OEFENING

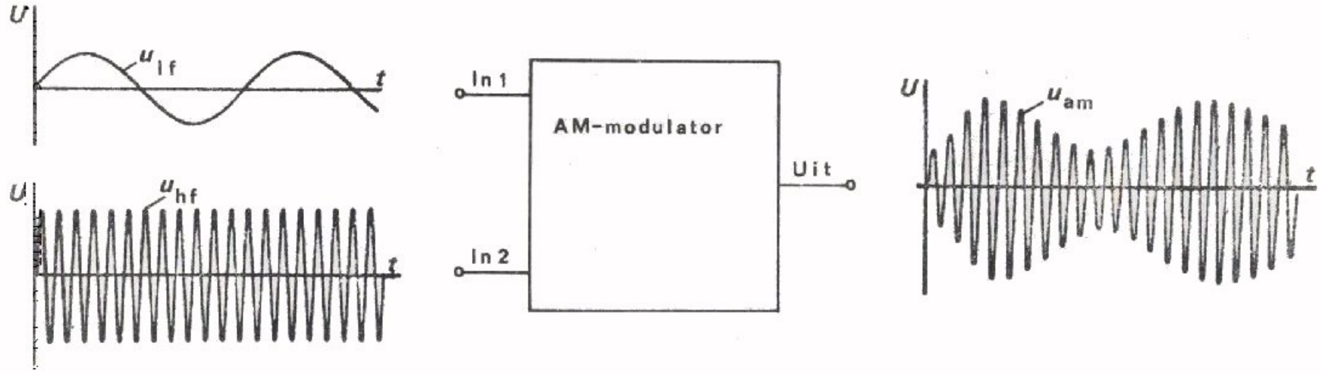
Veronderstel dat de nulstand van de gebruikte draaispoelmeter in het midden ligt. Waar ligt op de schaal 0°, 90° en 180° ?



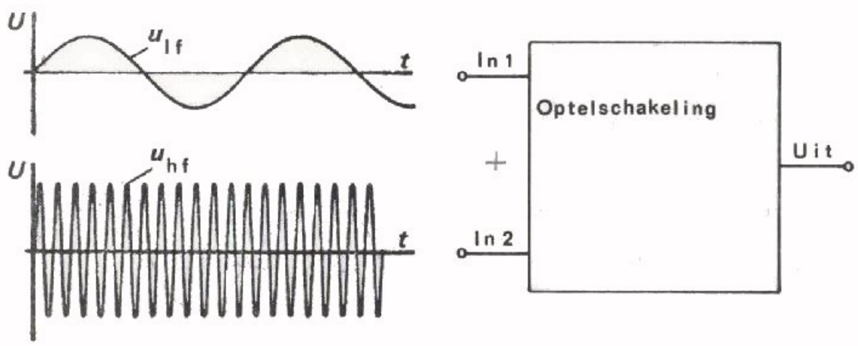
AMPLITUDE MODULATIE.

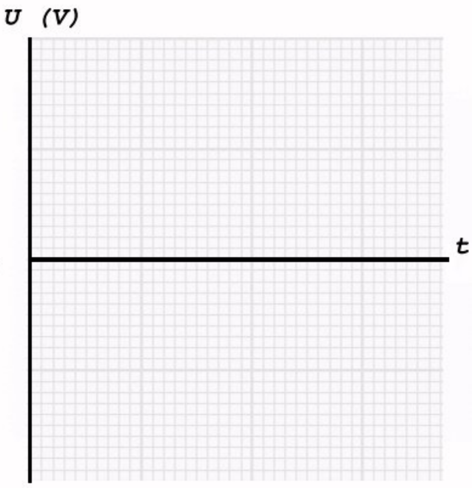
We weten dat bij het draadloos overbrengen van spraak, muziek, afbeeldingen en teksten gebruik gemaakt wordt van amplitude-gemoduleerde (AM)- en frequentie-gemoduleerde (FM)-signalen. Aan de zendzijde worden de LF-signalen zodanig in een HF-draaggolf verwerkt dat de LF-informatie behouden blijft. Deze bewerking moemt men *moduleren*. Aan de ontvangzijde wordt de LF-informatie weer gescheiden van de draaggolf. Dit noemt men *detecteren*. Detectieschakelingen zijn in C22 besproken.

In een modulator voor AM (een AM-modulator) wordt de LF-spanning op een zodanige wijze met de draaggolf "gemengd" dat de *amplitude* van het HF-uitgangssignaal varieert in het ritme van het LF-signaal.



OEFENING



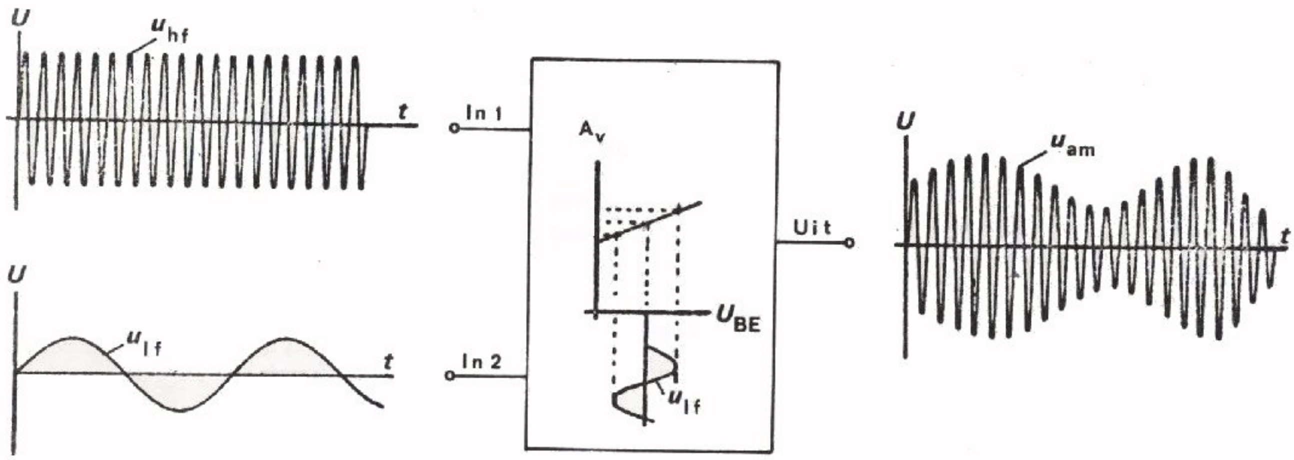


- Schets het verloop van de uitgangsspanning u_u.
- Is u_u een AM-signaal ? **ja / neen**
- Is het HF-signaal zoals U dat hebt geschetst geschikt om de LF-informatie draadloos over te brengen ?
  ja / neen
- Geef toelichting op Uw antwoord.

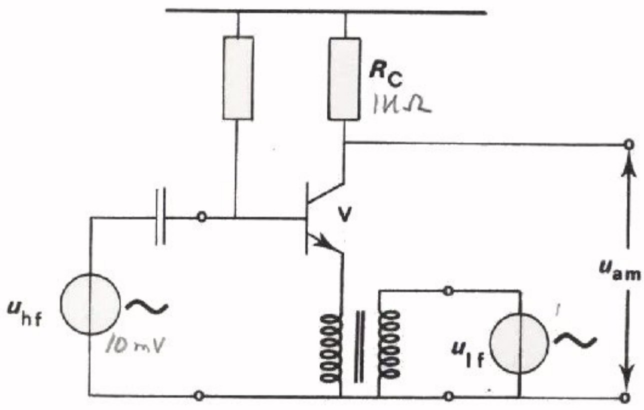
AM-MODULATORS.

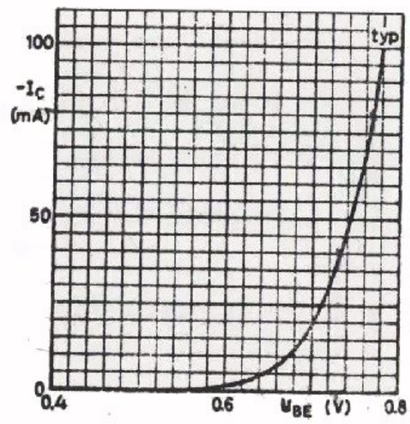
Er zijn vele mogelijkheden om een AM-signaal te verkrijgen. De volgende methode wordt in de praktijk vaak toegepast.

De HF-draaggolf wordt toegevoerd aan een versterkertrap waarvan de versterking A_v wordt beïnvloed door het LF-signaal. Op de momenten dat het LF-signaal bijv. maximaal positief is, is de versterking groot, waardoor de amplitude van de HF-uitgangsspanning ook groot wordt. Op de momenten dat het LF-signaal maximaal negatief is, gebeurt het omgekeerde.



Hieronder is een AM-modulatieschakeling getekend, In het ritme van u_{lf} verandert de instelspanning U_{BE} van de transistor. In hetzelfde ritme varieert dan de steilheid S en dus ook de versterking $S.R_C$ Over R_C ontstaat dan een AM-signaal met u_{hf} als draaggolf.





S = helling grafiek

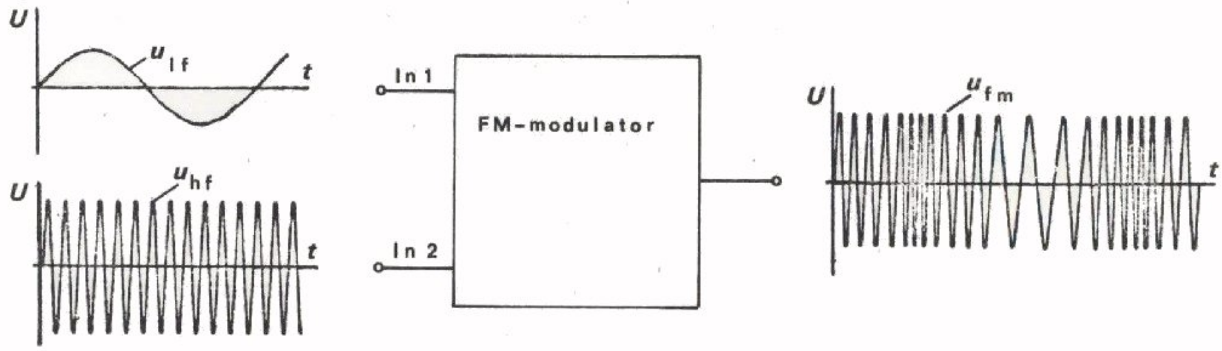
OEFENING

In bovenstaande schakeling is R_C = 1 kΩ. De steilheid van de transistor varieert van 40 mA/V naar 80 mA/V onder invloed van u_{lf}; u_{hft} = 10 mV.

- Hoe groot is de maximale u_u ? $U_{u(max)}$ = [V]
- Hoe groot is de minimale u_u ? $U_{u(min)}$ = [V]

FREQUENTIEMODULATIE.

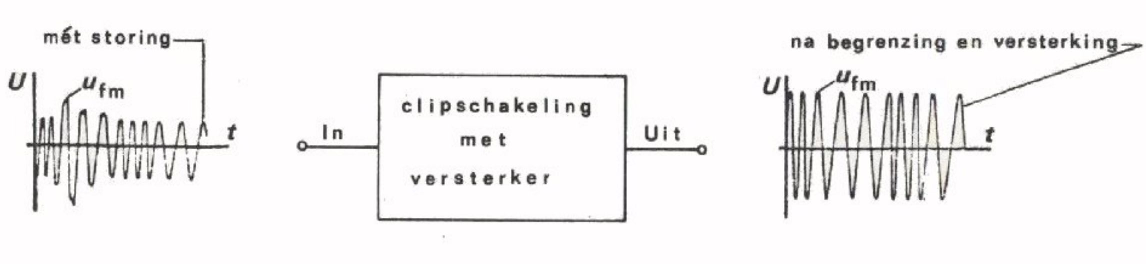
Op het voorgaande blad hebben we gezien hoe AM-signalen worden verkregen. Bij het draadloos overbrengen van LF-informatie (bijv. muziek) wordt ook vaak gebruik gemaakt van *frequentie-gemoduleerde* signalen(FM). In de zender wordt de LF-informatie zodanig met de HF-golf "gemengd" dat de frequentie van de draaggolf varieert in het ritme van het LF-signaal. De schakeling waarin dit tot stand komt noemt men een *FM-modulator*.



In de FM-ontvanger wordt de LF-informatie weer gescheiden van de draaggolf. Dit is behandeld in C22.

VOOR- EN NADELEN VAN FM t.o.v. AM.

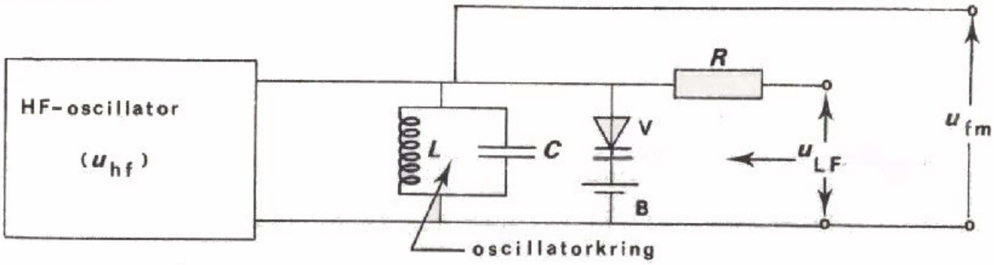
Met FM kan men kwalitatief betere resultaten bereiken dan met AM doordat bij FM minder last van storingen worden ondervonden. Tijdens het overbrengen van informatie van zender naar ontvanger wordt het gemoduleerde signaal beïnvloed door zogenaamde atmosferische storingen (bijv. ontladingen door bliksem). Deze storingen openbaren zich als amplitude-pieken op de draaggolf. Bij AM, waar de gewenste informatie ook in de amplitude is verwerkt, is scheiding van storing en gewenste informatie dus niet mogelijk. Bij FM kan in de ontvanger de storing met een clipschakeling (zie C21) worden "weggeknipt" terwijl de gewenste informatie gehandhaafd blijft.



Ondanks de geringe stoorgevoeligheid van FM wordt toch ook nog steeds AM toegepast. De reden hiervan is dat voor FM een veel groter frequentiegebied nodig is dan voor AM wil eerder genoemd voordeel optreden. Een FM-zender neemt bij muziekoverdracht een frequentiegebied van ca. 200 kHz in beslag; een AM-zender slechts ca. 10 kHz. Het middengolfgebied loopt van 500 kHz tot 1500 kHz. Hierin zouden slechts 5 FM-zenders werkzaam kunnen zijn. In dit gebied kunnen daarentegen ca. 100 AM-zenders worden ondergebracht. FM is wel geschikt bij hoge draaggolffrequenties. In de FM-band tussen 87 MHz en 104 MHz zitten meer dan 60 FM-zenders.

EEN PRAKTISCHE FM-MODULATOR.

Hieronder is het vereenvoudigde principeschema van een FM-modulator afgebeeld.



We gaan eerst na hoe de schakeling werkt als er *geen* LF-spanning (u_{1f}) wordt toegevoerd.

De *LC*-kring en de capaciteitsdiode V maken deel uit van een HF-oscillator waarmee de draaggolf u_{hf} wordt opgewekt. De diode is in sperrichting geschakeld door middel van de batterij B. De capaciteit van V(C_V) wordt dus bepaald door de grootte van de batterijspanning. We hebben eerder in deze cursus geleerd dat de frequentie van een *LC*-oscillator gelijk is aan:

$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

Bij deze oscillator is de frequentie van de opgewekte draaggolf dus:

$$f_{draaggolf} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L(C + C_V)}}$$

Als L = 1 µH en $C + C_V$ = 10 pF, dan is de frequentie van u_{hf} ongeveer:

$f_{osc} \simeq$ [MHz]

Wat gebeurt er als we via de weerstand *R* een LF-spanning (u_{1f}) toevoeren ?

Ten gevolge van u_{1f} zal de anode van de diode afwisselend positiever en negatiever worden. De amplitude van u_{1f} is evenwel kleiner dan de batterijspanning zodat V steeds gesperd blijft. De diode-sperspanning (en dus ook de capaciteit van V) varieren dus in het ritme van de LF-spanning.

Als de sperspanning toeneemt wordt C_V [**kleiner/groter**] . De oscilleerfrequentie wordt dan [**hoger/lager**] .

Als de sperspanning afneemt wordt C_V [**kleiner/groter**] . De oscilleerfrequentie wordt dan [**hoger/lager**] .

Op deze wijze ontstaat er over de oscillatorkring een spanning waarvan de frequentie varieert in het ritme van de LF-spanning. De grootte van de frequentiezwaai wordt bepaald door de amplitude van u_{1f}. Over de kring staat dus een FM-signaal. De weerstand *R* dient om te voorkomen dat de *LC*-kring via de u_{1f}-bron wordt kortgesloten.

SAMENVATTING.

- In deze les zijn de volgende mengschakelingen aan de orde geweest:
  - een frequentietransformatie-schakeling.
  - poortschakelingen
  - een AM-modulator
  - een FM-modulator

- Een frequentietransformatie-schakeling gebruikt men als de frequentie van een signaal naar een willekeurig hogere of lagere waarde moet worden gebracht. Men maakt dan gebruik van een 2e signaal dat met het oorspronkelijke signaal wordt gemengd. Het resultaat is, dat er een uitgangsspanning ontstaat waarvan de frequentie gelijk is aan de *som* of het *verschil* van de frequenties van de ingangssignalen.

  Ingangssignalen: u_{i1} met de frequentie f_1

  u_{i2} met de frequentie f_2

  Uitgangssignaal: u_u met de frequentie (f_1+f_2) óf (f_1-f_2) óf (f_2-f_1).

- Met behulp van een poortschakeling wordt een gegeven signaal naar wens wél of niet doorgelaten. Dit gebeurt d.m.v. een 2e signaal (de zogenaamde schakelspanning) die de mengschakeling al of niet blokkeert. We hebben als praktische toepassing een fasemeter behandeld.

  Ingangssignalen: u_{i1}

  u_{i2} (de schakelspanning)

  Uitgangssignaal: u_u bestaande uit delen van u_{i1} (wélke delen wordt bepaald door u_{i2}).

- Een modulatieschakeling moduleert een LF-signaal op een HF-draaggolf. Dit gebeurt o.a. in een radio- en TV-zender.

  Bij een amplitude-modulator wordt het LF-signaal in de *amplitude* van de draaggolf verwerkt.

  Ingangssignalen: u_{hf} (draaggolf)

  u_{lf} (de informatie)

  Uitgangssignaal: u_{am} (d.i. een HF-signaal waarvan de amplitude varieert met de frequentie van u_{lf}).

  Bij een frequentie-modulator vindt een zodanige menging plaats dat het LF-signaal tot uiting komt in de *frequentie* van de draaggolf.

  Ingangssignalen: u_{hf} (draaggolf)

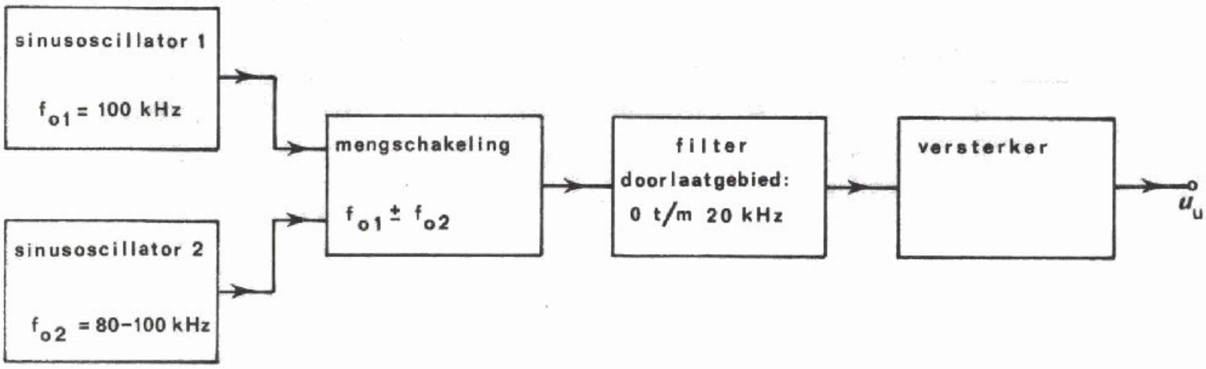
  u_{lf} (de informatie)

  Uitgangssignaal: u_{fm} (d.i. een HF-signaal waarvan de frequentie varieert in het ritme van u_{lf}).

NAAM: [ ] KLAS: [ ]

OEFENINGEN:

1. Dit is het blokschema van een LF-generator.



Oscillator 1 is op een vaste frequentie f_{o1} = 100 kHz ingesteld.
Oscillator 2 is regelbaar tussen f_{o2} = 80 tot 100 kHz.
Deze twee signalen worden in een frequentietransformatie-schakeling gemengd.
Een filter laat het gewenste frequentiegebied 0 t/m 20 kHz door. Een versterker zorgt voor de gewenste amplitude van de uitgangsspanning u_u.

- Hoe hoog is de frequentie van u_u bij f_{o2} = 80 kHz?

f_{u1} = [ ] kHz

- Hoe hoog is de frequentie van u_u bij f_{o2} = 100 kHz?

f_{u2} = [ ] kHz

- Hoe groot is het frequentiebereik van de LF-generator ?

$f_{u1} - f_{u2}$ = [ ] kHz

Bij deze generator kan men zonder omschakeling van weerstanden condensators of spoelen een groot frequentiegebied bestrijken. Dit is bij andere typen LF-generators (zoals RC-oscillators) niet mogelijk (zie C16).
Het nadeel van dit soort LF-generators is evenwel dat de frequentie-*stabiliteit* van de uitgangsspanning gering is. Dit zult U merken bij het juiste beantwoorden van de volgende vragen.

- Hoe hoog is de frequentie van u_u bij f_{o2} = 99 kHz?

f_u = [ ] kHz

Hoeveel verandert de frequentie van u_u als de frequentie f_{o1} 1% hoger wordt ?

Verandering f_u : [ ] kHz d.i. [ ] %

2. Aan de ene ingang van de poortschakeling volgens fig.b wordt een spanning aangesloten waarvan het verloop in fig.a is afgebeeld. De andere ingang van de poortschakeling wordt achtereenvolgens kortgesloten (U_{BD} = 0 V) en verbonden met een negatieve spanning (U_{BD} = - 10 V).

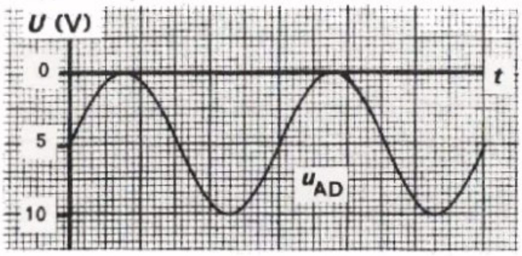


Fig. a

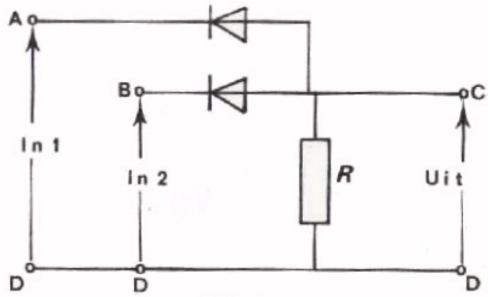
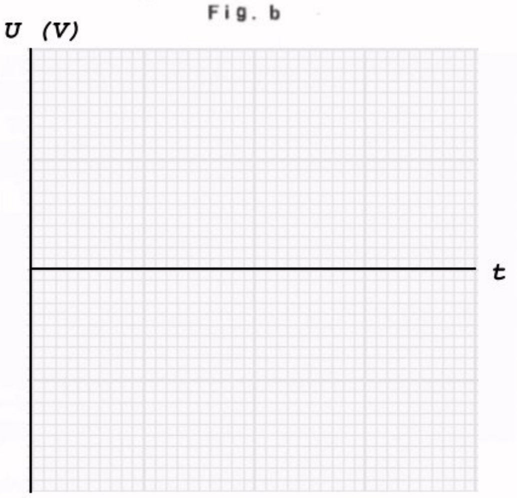
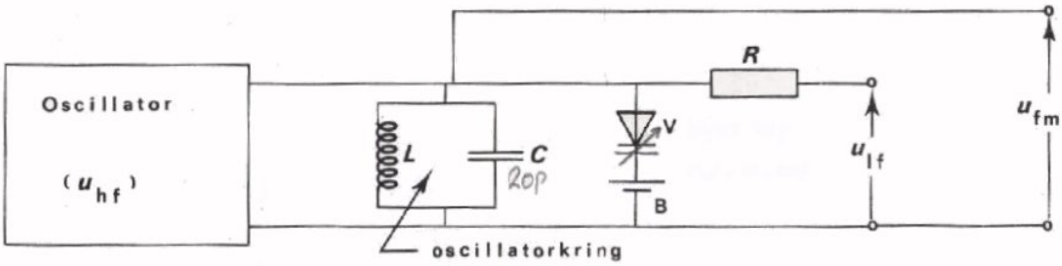


Fig. b

- Schets hiernaast het verloop van de uitgangsspanning u_{CD} bij U_{BD} = 0 V, (de dioden zijn ideaal).
- Teken in dezelfde figuur het verloop van u_{CD} bij U_{BD} = -10 V.



3. Hieronder is het schema van een FM-modulator getekend.



Van deze schakeling is bekend:

- Bij u_{1f} = 0 : de diodecapaciteit C_V = 40 pF.
  f_{osc} = 1 MHz, (C = 20 pF).
- Als u_{1f} wordt aangesloten varieert C_V van 10 pF naar 100 pF.

Gevraagd:

- Hoe hoog is de maximale oscilleerfrequentie ? $f_{max} \simeq$ [MHz]
- Hoe hoog is de minimale oscilleerfrequentie ? $f_{min} \simeq$ [MHz]

C 33

S Y S T E M E N I

M E E T S Y S T E M E N

KORTE TERUGBLIK

We zijn gekomen aan de afsluiting van het deel *analoge schakelingen.*
We hebben gezien dat bij de analoge verwerking van elektronische informatie gebruik gemaakt wordt van een beperkt aantal *functies*. De belangrijkste hiervan hebben we behandeld.
Het zijn de functies:

- Versterken.
- Verzwakken.
- Oscilleren.
- Voeden.
- Omvormen.
- Opnemen.
- Weergeven.
- Vertragen en onthouden.
- Transporteren.
- Mengen.

Ook hebben we een groot aantal elektronische *schakelingen* besproken, waarmee deze functies verwezenlijkt kunnen worden.

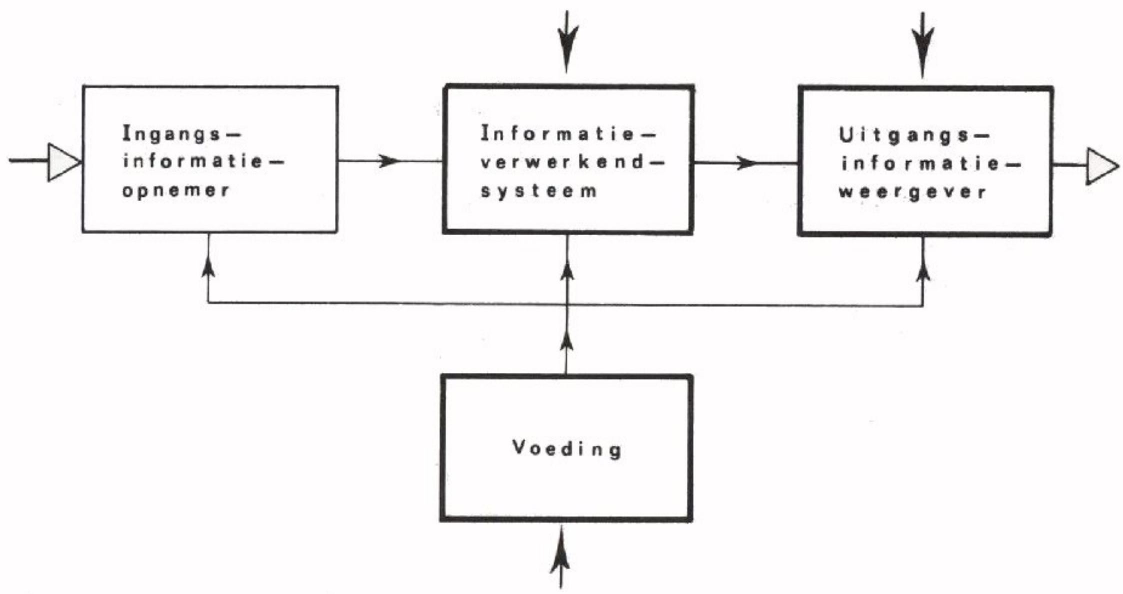
WAT IN DEZE LES AAN DE ORDE KOMT.

In de voorgaande lessen werden bovengenoemde functies *afzonderlijk* bekeken.
In de twee lessen die nu volgen nemen we *combinaties* van functies onder de loep. Een samenstel van schakelingen waarmee zo'n combinatie van functies verwezenlijkt wordt, noemen we een elektronisch *systeem*. Met de kennis uit voorgaande lessen moet u in staat zijn de werking van eenvoudige analoge systemen te begrijpen.
In deze eerste systeemles bespreken we een aantal gangbare *analoge meetsystemen* (elektronische meetapparaten).

We behandelen achtereenvolgens de opbouw van:

- Een versterkervoltmeter voor wisselspanning.
- Een versterkervoltmeter voor gelijkspanning.
- Een versterkervoltmeter voor gelijk- én wisselspanning.
- Een frequentiemeter.
- Een fasemeter.
- Een oscilloscoop.

Genoemde meetsystemen zijn opgebouwd uit de delen informatieverwerking, informatieweergeving en voeding. Het blok informatie-opneming is hier niet van toepassing; het ingangssignaal van het meetsysteem is de te meten spanning.



DE GROEPEN VAN SCHAKELINGEN DIE IN ANALOGE SYSTEMEN VOORKOMEN



Het uitgangsvermogen is groter dan het ingangsvermogen.



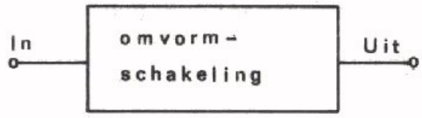
De uitgangsspanning is kleiner dan de ingangsspanning.



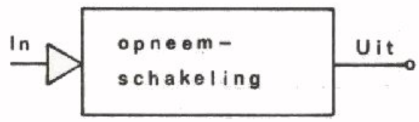
Aan de uitgang is een wisselspanning beschikbaar, zonder dat er aan de schakeling een wisselspanning wordt toegevoerd.



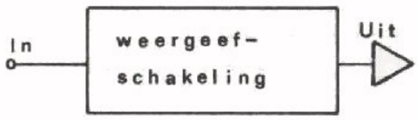
Aan de uitgang is een gelijkspanning beschikbaar, die afkomstig kan zijn van chemische energie (accu of batterij) óf afgeleid is van de netspanning.



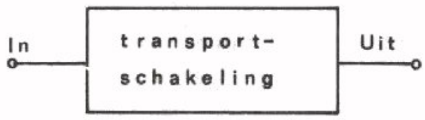
De vorm en/of frequentie van de uitgangsspanning komt niet overeen met die van de ingangsspanning.



De elektrische uitgangsinformatie is evenredig met de *niet*-elektrische ingangsinformatie.



De *niet*-elektrische uitgangsinformatie is evenredig met de elektrische ingangsinformatie.



De verbinding tussen de ingang en de uitgang is "elektrisch lang".



Het uitgangssignaal is enige tijd ná het toevoeren van het ingangssignaal beschikbaar.



De uitgangsspanning bevat kenmerken van alle ingangsspanningen.

OPMERKING: In bijna elk elektronisch systeem komt een voedingsblok voor. Om niet telkens in herhaling te vallen, laten we dit blok in de navolgende systemen weg.

DE VERSTERKERVOLTMETER

Voor het meten van kleine spanningen, vooral wisselspanningen, zijn voltmeters *zonder versterker* meestal ongeschikt. Bij dergelijke meters is de *gevoeligheid* gering en de *ingangsweerstand* laag. Dit zijn voor een voltmeter ongunstige eigenschappen.

- Van uw *niet-elektronische* universeelmeter is het laagste wisselspanningsbereik:

U_{eff} = [V]

- In dit meetbereik is de ingangsweerstand:

R_i = [kΩ]

De eigenschappen van een voltmeter *mét versterker* (een zogenaamde *versterkervoltmeter*) zijn aanzienlijk beter.

- Van uw *elektronische* universeelmeter is het laagste meetbereik:

U_{eff} = [V]

- In dit meetbereik is de ingangsweerstand:

R_i = [Ω]

Waarom de eigenschappen van een versterkervoltmeter (fig. b) gunstiger zijn dan die van een niet-elektronische voltmeter (fig. a).



Fig. a

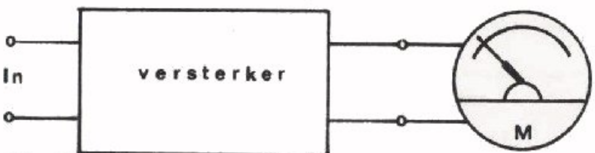


Fig. b

- De *gevoeligheid*.

  De "kale" draaispoelmeter heeft voor volle wijzeruitslag een spanning nodig van bijv. 100 mV (dit is een vrij normale waarde).
  De versterker heeft een versterking van bijv. 100 x.
  Aan de ingang van de versterker is dan slechts 1 mV nodig om volle wijzeruitslag van de draaispoelmeter te verkrijgen.

  De gevoeligheid van de versterkervoltmeter is in dit geval een factor 100 groter dan die van de "kale" draaispoelmeter.

- De *ingangsweerstand.*

  De ingangsweerstand van een "kale" draaispoelmeter is laag (bijv. 1 kΩ) voor een 100 mV-instrument).

  De ingangsweerstand van een versterkervoltmeter wordt echter bepaald door de ingangsweerstand van de versterker, die veel hoger kan zijn, bijv. 1 MΩ.

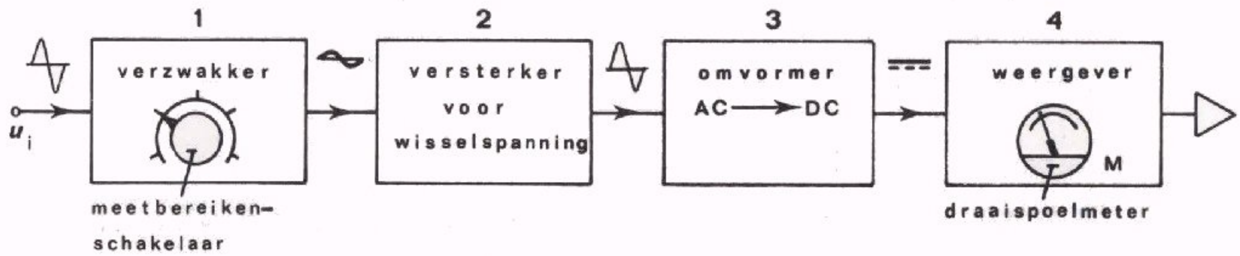
  In dit geval is de ingangsweerstand van de versterkervoltmeter 1000 x groter dan die van de "kale" draaispoelmeter.

Enkele bezwaren van de versterkervoltmeter zijn:

- Hogere prijs en gewicht.
- Er is een voeding nodig voor de versterker.
- Door zijn gecompliceerdheid is de kans op storing groter.
- De nauwkeurigheid wordt niet alleen bepaald door de eigenschappen van de draaispoelmeter maar bovendien door die van de versterker.
  De nauwkeurigheid is dus minder.

VERSTERKERVOLTMETERS VOOR WISSELSPANNING

Dit type versterkervoltmeter is alleen te gebruiken voor het meten van de effectieve waarde van *sinusvormige* wisselspanningen.



OPBOUW VAN HET BLOKSCHEMA

- De draaispoelmeter is een *omzetter* die een elektrische spanning omzet in een wijzeruitslag (blok 4).

- Omdat een draaispoelmeter alleen geschikt is voor het meten van gelijkspanning, moet er een *AC-DC-omvormer* aan vooraf gaan (blok 3).

- Daar deze versterkervoltmeter uitsluitend bedoeld is voor het meten van wisselspanning, is de versterker een *wisselspanningsversterker* (blok 2).

  Als de versterking zo groot is dat een spanning van bijv. 1 mV op de ingang van de versterker, volle meteruitslag geeft, dan zegt men:
  "Deze versterkervoltmeter heeft een gevoeligheid van 1 mV".

- Hoewel de versterking een vaste waarde heeft, wil men met zo'n voltmeter ook hogere wisselspanningen kunnen meten dan 1 mV.
  Men gebruikt dan de *verzwakker* van blok 1.

  Deze verzwakker heeft een stappenschakelaar, waarmee een bepaalde verzwakking van het ingangssignaal gekozen kan worden.
  De stappenschakelaar fungeert als meetbereiken-schakelaar.
  In ons voorbeeld is er in de stand "1 mV" géén verzwakking.
  In de stand "3 mV" wordt de ingangsspanning een factor 3 verzwakt voordat deze aan de ingang van de versterker wordt toegevoerd.
  In de stand "10 mV" is de verzwakking 10 x, bij "30 mV" 30 x, enz.
  In plaats van de stappen 1 - 3 - 10 - 30 - 100 mV enz., komt men ook wel andere reeksen tegen.

EIGENSCHAPPEN

Van deze versterkervoltmeters kan men globaal de volgende eigenschappen verwachten:

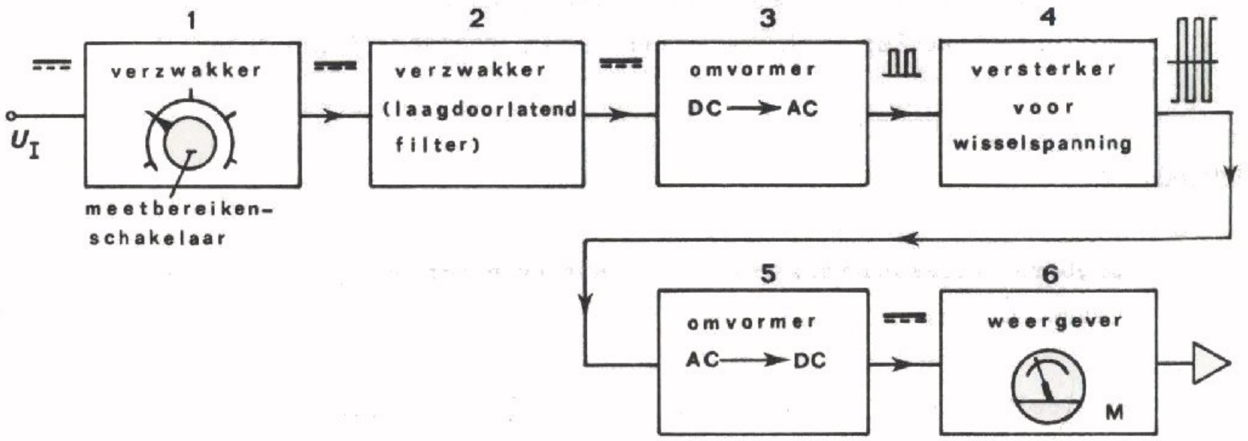
- Gevoeligheid : 1 mV voor volle meteruitslag.
- Frequentiegebied: 1 Hz tot 10 MHz.
- Ingangsweerstand: 1 à 10 MΩ.

OPMERKING:

De meterschaal van wisselspanningsmeters is zo geijkt dat de afgelezen spanningswaarde overeenkomt met de *effectieve* waarde van de *sinusvormige* wisselspanning op de ingang. Een wisselspanningsmeter is daarom ongeschikt voor het meten van niet-sinusvormige spanningen, bijv. blokspanningen. Zelfs bij het meten van *vervormde* sinusvormige spanningen treedt een meetfout op.

VERSTERKERVOLTMETERS VOOR GELIJKSPANNING

Dit type versterkervoltmeter is alleen geschikt voor het meten van gelijkspanningen.



OPBOUW VAN HET BLOKSCHEMA

- Bij de bespreking van de functie "versterken" hebben we gezien dat het niet eenvoudig is *kleine gelijkspanningen* m.b.v. een gelijkspanningsversterker te versterken (C7). Daarom maakt men in *gevoelige* gelijkspanningsmeters gebruik van een *wisselspanningsversterker* (blok 4).

- Dit betekent dat de te meten gelijkspanning eerst omgevormd moet worden tot een wisselspanning.
  Hiervoor dient de DC-AC-*omvormer* (blok 3).

- De *versterkte* wisselspanning wordt weer omgevormd tot een gelijkspanning door middel van een AC-DC-*omvormer* (blok 5).

- De draaispoelmeter zet deze gelijkspanning om in een wijzeruitslag en fungeert dus als *weergever* (blok 6).

- De wisselspanningsversterker heeft een *vaste* versterking.
  Om het meten van grote gelijkspanningen mogelijk te maken, is aan de ingang een *verzwakker* geplaatst (blok 1).
  Met deze stappen-verzwakker kan het gewenste meetbereik gekozen worden door de ingangsspanning een bepaald aantal malen te verzwakken.

- Eventuele wisselspanningen die samen met de te meten gelijkspanning op de ingang staan, mogen niet op de ingang van de wisselspanningsversterker terecht komen. Ze zouden de meteruitslag beïnvloeden. Tussen de verzwakker en de DC-AC-omvormer bevindt zich een filter dat de gelijkspanning doorlaat, maar eventuele wisselspanningen sterk verzwakt.
  Deze schakeling is in wezen een *laagdoorlatend filter* (blok 2).

EIGENSCHAPPEN

Gangbare gelijkspanningsmeters van dit type hebben globaal de volgende eigenschappen:

- Gevoeligheid : 10 µV voor volle wijzeruitslag.
- Ingangsweerstand: 10 à 1000 MΩ.

OEFENING

De meetbereiken van bovengenoemde versterkervoltmeter zijn bijv.:

10 µV - 30 µV - 100 µV - 300 µV .... 300 V.

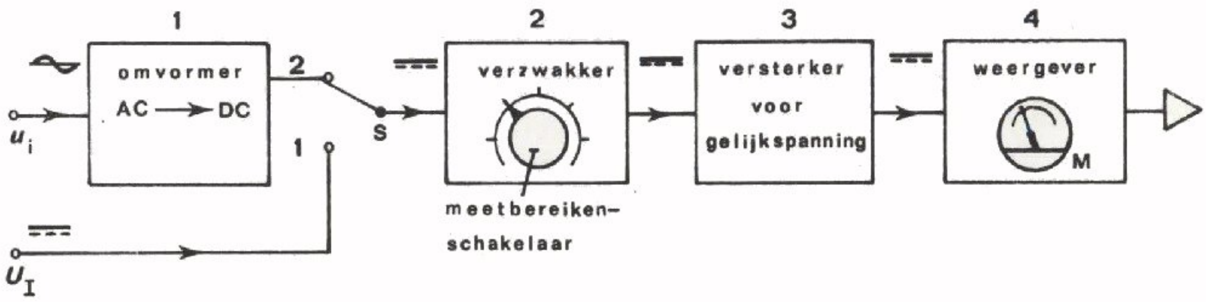
- Hoeveel maal verzwakt blok 1 in de stand "300 mV"?

V_u = [ ]

VERSTERKERVOLTMETERS VOOR GELIJK- EN WISSELSPANNING

Dit type versterkervoltmeters is zo geconstrueerd dat men er zowel gelijkspanning als wisselspanning mee kan meten.
Deze voltmeter komt in twee principiëel verschillende uitvoeringen voor.
Van beide uitvoeringen bespreken we het blokschema.

UITVOERING I



OPBOUW VAN HET BLOKSCHEMA

- Deze versterkervoltmeter is in wezen een *gelijk*spanningsmeter, met aan de ingang een AC-DC-*omvormer* om óók het meten van wisselspanningen mogelijk te maken (blok 1).

- Zowel bij het meten van gelijkspanning (S in stand 1) als bij het meten van wisselspanning (S in stand 2) komt er dus *gelijkspanning* op de ingang van de *verzwakker* (blok 2).

- De al of niet, m.b.v. de meetbereikenschakelaar, verzwakte gelijkspanning wordt versterkt in een *gelijkspanningsversterker* (blok 3).

- De versterkte gelijkspanning kan rechtstreeks toegevoerd worden aan een draaispoelmeter die als *weergever* dienst doet (blok 4).

Het gebruik van een *gelijkspannings*-versterker brengt met zich mee dat dit soort meetapparaten nogal ongevoelig is. Bij het meten van wisselspanningen wordt de gevoeligheid nog extra beperkt door de diode-gelijkrichter die de functie van AC-DC-omvormer vervult. Een diode begint immers pas bij spanningen boven ca. 0,5 V goed te geleiden.

Deze voltmeter is echter bijzonder geschikt voor het meten van wisselspanningen met *zeer hoge frequenties*.
Dit is te danken aan het feit dat er geen wisselspanningsversterking plaatsvindt; het frequentiegebied van een wisselspanningsversterker is immers beperkt. Door bovendien de AC → DC-omvormer in een meetkop te brengen, worden lange meetleidingen voor wisselspanning vermeden. Op de verbindingskabel tussen de meetkop en het meetapparaat staat nu uitsluitend gelijkspanning.

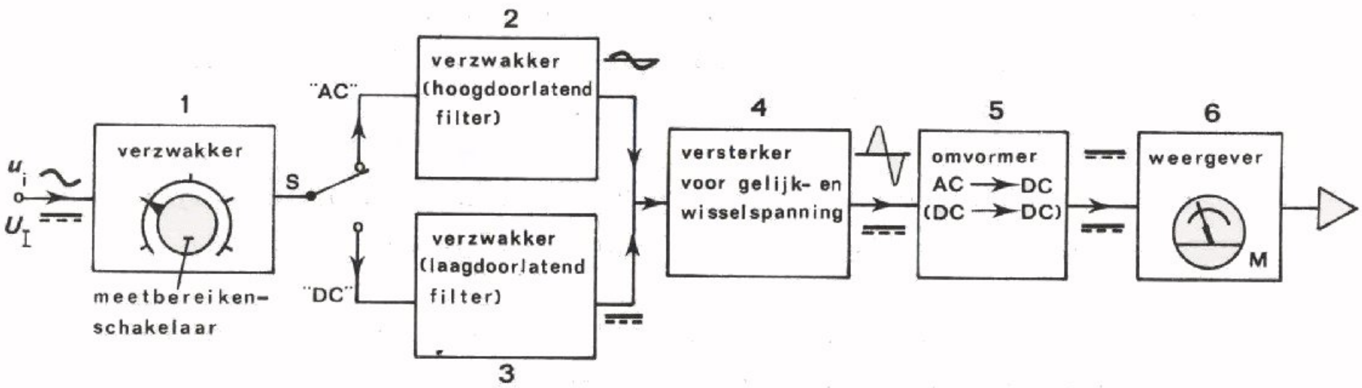
Een dergelijke meter noemt men een "*diode-voltmeter*" omdat de AC → DC-omvormer uit een *diode*-gelijkrichter bestaat.

De *eigenschappen* van een diode-voltmeter zijn globaal:

- Gevoeligheid voor wisselspanningen: 1 V voor volle wijzeruitslag.
- Gevoeligheid voor gelijkspanningen: 100 mV voor volle wijzeruitslag.
- Frequentiegebied : 50 Hz tot 100 à 300 MHz.
- Ingangsweerstand : 1 à 10 MΩ.

VERSTERKERVOLTMETERS VOOR GELIJK- EN WISSELSPANNING

UITVOERING II



OPBOUW VAN HET BLOKSCHEMA

De opbouw van deze versterkervoltmeter is zodanig dat gelijk- en wisselspanningen op *dezelfde manier* verwerkt worden (blok 1, 4, 5 en 6). Bij het meten van *gelijk*spanningen worden eventuele wisselspanningen sterk verzwakt (blok 3).
Bij het meten van *wissel*spanningen worden eventuele gelijkspanningen geblokkeerd (blok 2).

- De te meten wissel- óf gelijkspanning wordt indien nodig verzwakt door de ingangs-*verzwakker* (blok 1); dit is de meetbereiken-schakelaar.

- In de stand "AC" van de keuzeschakelaar S wordt de te meten wisselspanning toegevoerd aan een filter dat eventuele gelijkspanningen blokkeert en de wisselspanning doorlaat.
  In wezen is deze schakeling een *hoogdoorlatend* filter.

- In de stand "DC" van de keuzeschakelaar wordt de te meten gelijkspanning toegevoerd aan een filter dat eventuele wisselspanningen sterk verzwakt en de gelijkspanning doorlaat. Deze schakeling is een *laagdoorlatend* filter.

- De wissel- óf gelijkspanning wordt daarna versterkt in een *versterker voor gelijk- én wisselspanning*, bijv. een OP-AMP (blok 4).

- Versterkte wisselspanningen worden tot een gelijkspanning omgevormd door een AC-DC-*omvormer* (blok 5). Deze omvormer moet van een zodanig type zijn, dat versterkte gelijkspanningen zonder meer doorgelaten worden.

- De draaispoelmeter fungeert weer als *weergever* (blok 6).

Deze uitvoering II is in vergelijking met de reeds besproken uitvoering I iets *gevoeliger voor wisselspanningen*.
Omdat hier wisselspanningsversterking plaatsvindt, is het *frequentiegebied* waarin deze voltmeter bruikbaar is *veel kleiner*.

Bij voltmeters in deze uitvoering mag men rekenen op de volgende eigenschappen:

- Gevoeligheid voor gelijk- en wisselspanning: 100 mV voor volle uitslag.
- Frequentiegebied : 25 Hz tot 25 kHz.
- Ingangsweerstand : 1 à 10 MΩ.

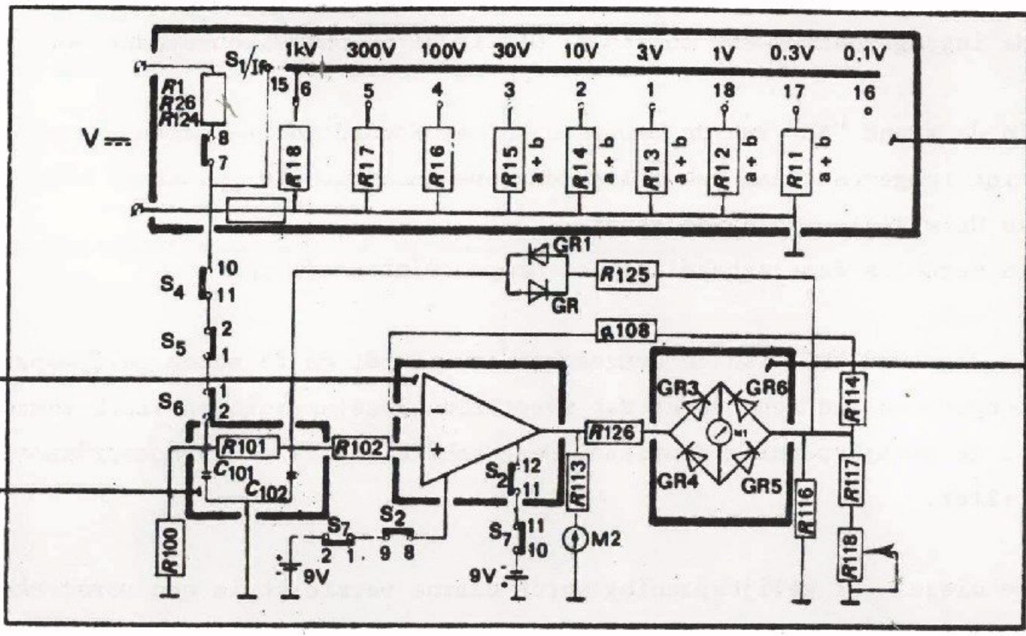
OEFENING

Teken een schakeling die gelijkspanning blokkeert en wisselspanning doorlaat.

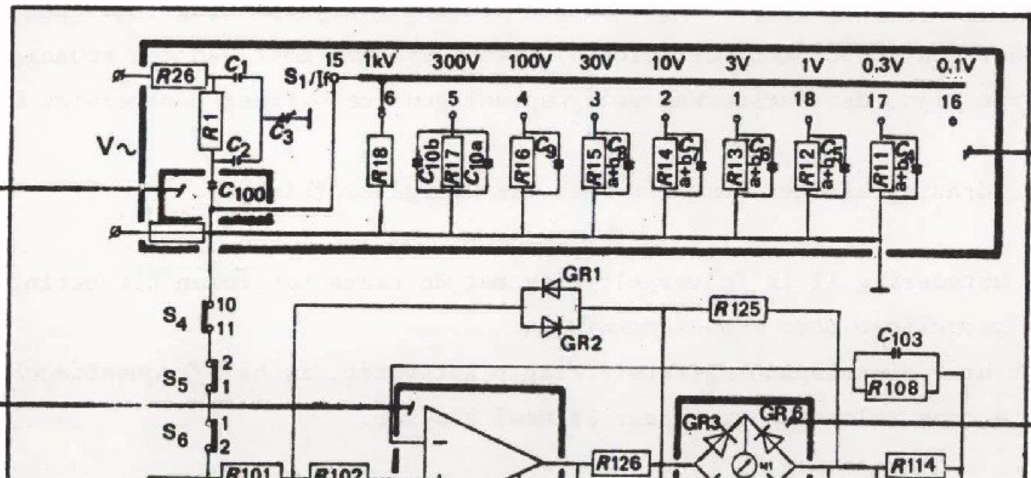


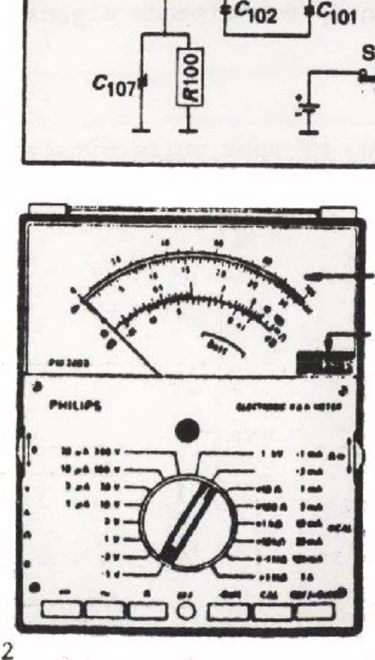
PRINCIPESCHEMA VAN EEN VERSTERKERVOLTMETER VOOR "AC" ÉN "DC"

A. GESCHAKELD ALS GELIJKSPANNINGSMETER



B. GESCHAKELD ALS WISSELSPANNINGSMETER





Bovenstaande principeschema's behoren bij de "elektronische V-A-Ω meter", die hiernaast is afgebeeld.

Behalve gelijk- en wisselspanning kan men met deze meter óók weerstand, gelijkstroom en wisselstroom meten. De twee principeschema's geven alleen de schakelingen voor spanningsmeting.

OEFENINGEN

1. De versterkervoltmeter waarvan op blad 12 het principeschema is getekend, voldoet aan het blokschema van:

uitvoering I /	uitvoering II
blad 9	blad 10

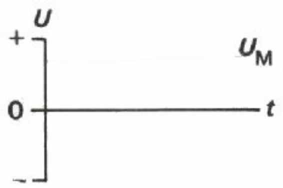
2. ● Noem de functies van de blokken I t/m IV,
   - zowel voor geval A (bij het meten van gelijkspanning),
   - als voor geval B (bij het meten van wisselspanning).

   ● Geef aan of die functie in dát geval geldt voor AC of voor DC.

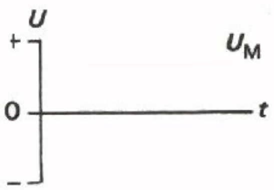
Blok	Functie	AC / DC	Blok	Functie	AC / DC
I a			I b		
II a			II b		
III a			III b		
IV a			IV b		

3. BLOK Ib.
   Waarvoor dienen de condensators, die parallel geschakeld zijn aan de weerstanden van de verzwakker?

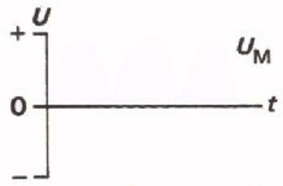
4. BLOK IV a en IV b.
   ● Schets het verloop van de spanning over de draaispoelmeter M1 als de ingang van het apparaat achtereenvolgens wordt toegevoerd:
   - een positieve gelijkspanning,
   - een negatieve gelijkspanning,
   - een sinusvormige wisselspanning.



U_I positief

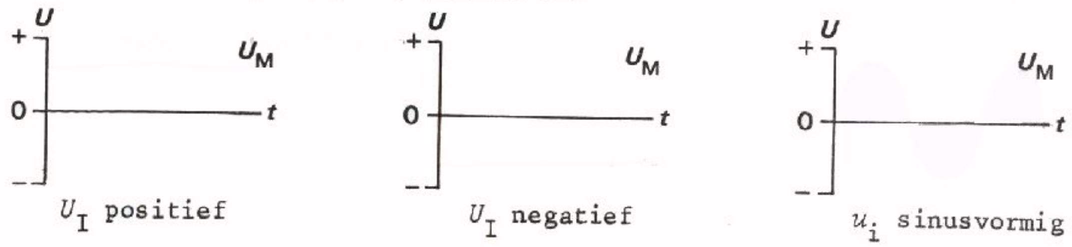


U_I negatief

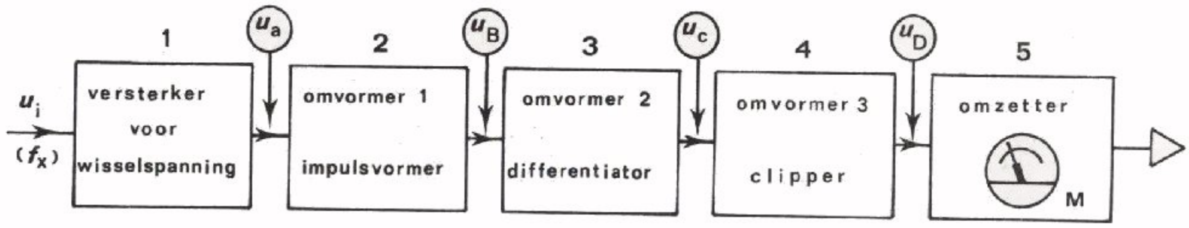


u_i sinusvormig

- Doe hetzelfde voor draaispoelmeter M2.



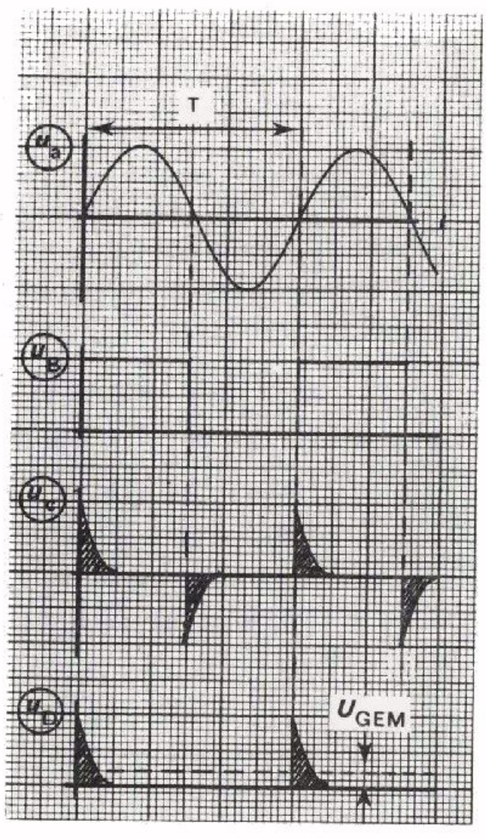
EEN DIRECT-AANWIJZENDE FREQUENTIEMETER



OPBOUW VAN HET BLOKSCHEMA

- De wijzeruitslag van de meter mag uitsluitend worden bepaald door de *frequentie* van het ingangssignaal, en mag niet beïnvloed worden door de amplitude of de vorm van dit signaal.
  Daarom wordt het ingangssignaal omgevormd tot een "eenheids"-blokspanning, d.m.v. *omvormer* I (blok 2).

  De amplitude van deze blokspanning is steeds even groot, onafhankelijk van de amplitude en de vorm van u_i.
  De *frequentie* is echter gelijk aan die van het ingangssignaal.
  Omvormer I is een *impulsvormer* waarvoor meestal een *Schmitt-trigger* gebruikt wordt (zie eventueel C21).



- Een Schmitt-trigger kan alleen werken als het ingangssignaal voldoende groot is. Het ingangssignaal wordt daarom eerst versterkt in een *versterker* (blok 1).

- De "eenheids"-blokspanning wordt omgevormd tot positieve en negatieve spanningspieken, d.m.v. *omvormer* II (blok 3).

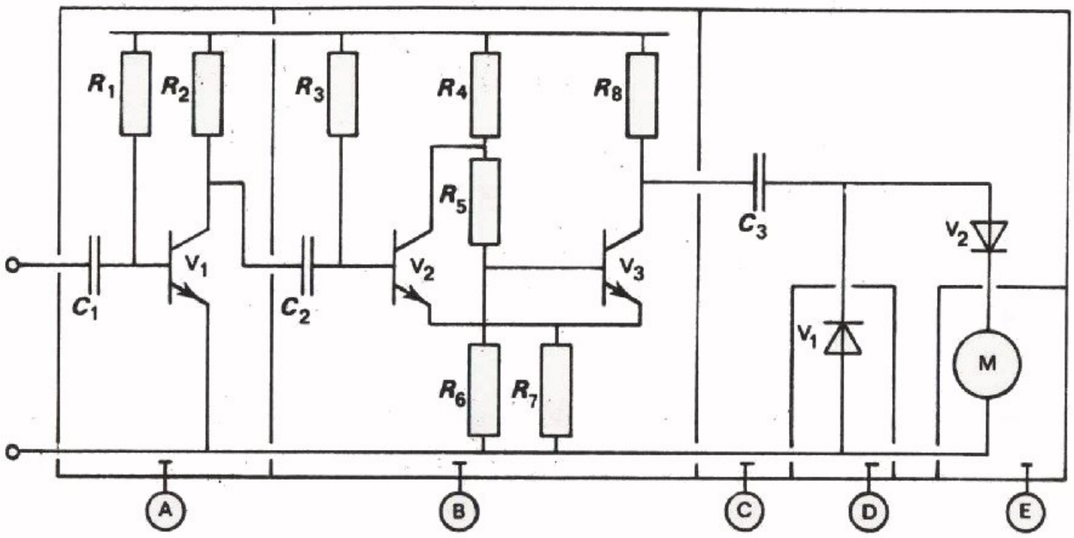
  Dit is een *differentiator*, die de vóórflanken van de blokspanning omvormt tot positieve spanningspieken, en de achterflanken tot negatieve pieken.
  Dankzij de "eenheids"-blokspanning zijn de spanningspieken binnen een bepaald frequentiegebied steeds gelijk van vorm en grootte.

- De negatieve pieken worden verwijderd door *omvormer* III (blok 4). Dit is een *clip-schakeling* die de negatieve pieken "wegknipt".

- De positieve spanningspieken worden door een draaispoelmeter omgezet in een wijzeruitslag (blok 5).

  Elke periode van het ingangssignaal u_i heeft één positieve piek tot gevolg. De draaispoelmeter reageert op de *gemiddelde* waarde van de spanningspieken (U_{GEM}). Naarmate het aantal pieken per seconde groter is, dus naarmate de frequentie van u_i hoger is, wordt de gemiddelde spanning voor de meter groter en slaat de meter verder uit. Verdubbelt bijv. de frequentie van u_i, dan wordt het aantal pieken per seconde tweemaal zo groot en de gemiddelde spanning op de meter eveneens. De meter slaat een factor 2 verder uit. De wijzeruitslag is *evenredig* met de frequentie van het ingangssignaal u_i.

PRINCIPESCHEMA VAN EEN DIRECT-AANWIJZENDE FREQUENTIEMETER



OEFENINGEN

Bovenstaand schema is opgebouwd volgens het blokschema van blad 14.

1. Noem de functie van de blokken A t/m E.

Blok	Functie
A	
B	
C + E	
D	
E	

—Beschouw meter M hier als een weerstand.

2. Blok B
   Hoeveel stabiele toestanden heeft de Schmitt-trigger?

   een/twee/geen

3. Blok C, D en E
   Alleen de *positieve* spanningspieken van het gedifferentieerde signaal mogen een stroom door de draaispoelmeter veroorzaken.
   Voor de *negatieve* pieken vormt de diode V_1 een "kortsluiting", die parallel aan de meter staat.

Omdat echter over een geleidende diode een spanning van ca. 0,6 V staat, zou er tijdens de negatieve pieken toch een kleine stroom in tegengestelde richting door de meter vloeien.

Om dit te voorkomen is diode V_2 in serie met de meter geschakeld.

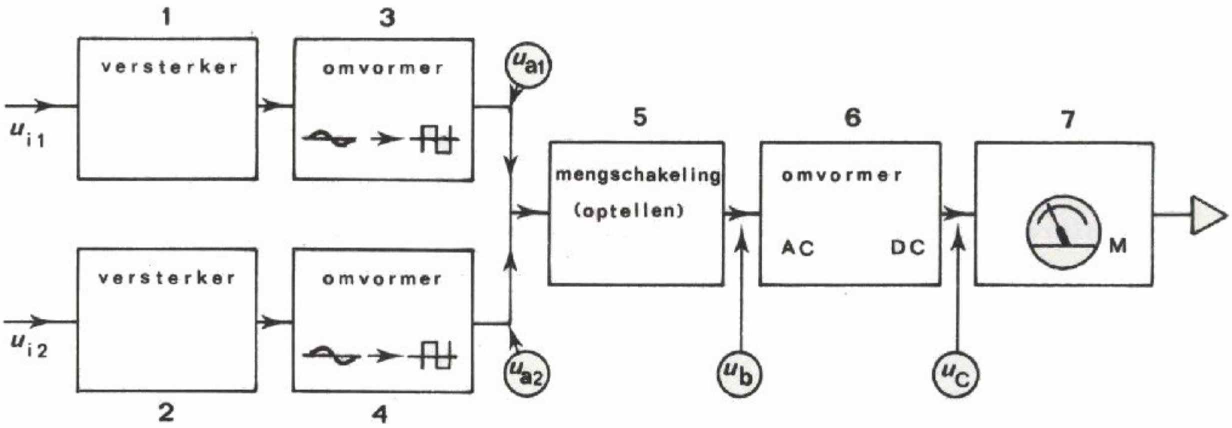
De condensator C_3 wordt telkens

geladen via [ ] en ontladen via [ ]

Waar bevindt zich in het schema de "+" van de meter M?

boven/onder

EEN DIRECT AANWIJZENDE FASEMETER



OPBOUW VAN HET BLOKSCHEMA

- De uitslag van de meter M (blok 7) mag uitsluitend worden bepaald door het *faseverschil* tussen de sinusvormige ingangsspanningen u_{i1} en u_{i2}. De amplituden van de ingangsspanningen mogen geen invloed hebben op de meteruitslag.
  Daarom wordt elk van de sinusspanningen omgevormd tot een blokvormige spanning met een constante amplitude (blokken 3 en 4), maar met behoud van de *fase* (zie de afbeeldingen op blad 19).

- Voor een goede werking van de omvormers moeten de sinusspanningen voldoende groot zijn. Hiervoor zorgen de versterkers van de blokken 1 en 2.

- De blokspanningen u_{A1} en u_{A2} worden in een mengschakeling opgeteld (blok 5), en gelijkgericht (blok 6).
  De resultaten ziet u op blad 19.

- Als u_{i1} en u_{i2} in fase zijn ontstaat een pulserende gelijkspanning die een maximale meteruitslag veroorzaakt.
  De gemiddelde waarde is gehalveerd bij een faseverschil van 90^0 tussen u_{i1} en u_{i2}.
  Bij 180^0 faseverschil is de uitgangsspanning van de optelschakeling nul.
  Er is dan geen meteruitslag.

EIGENSCHAPPEN

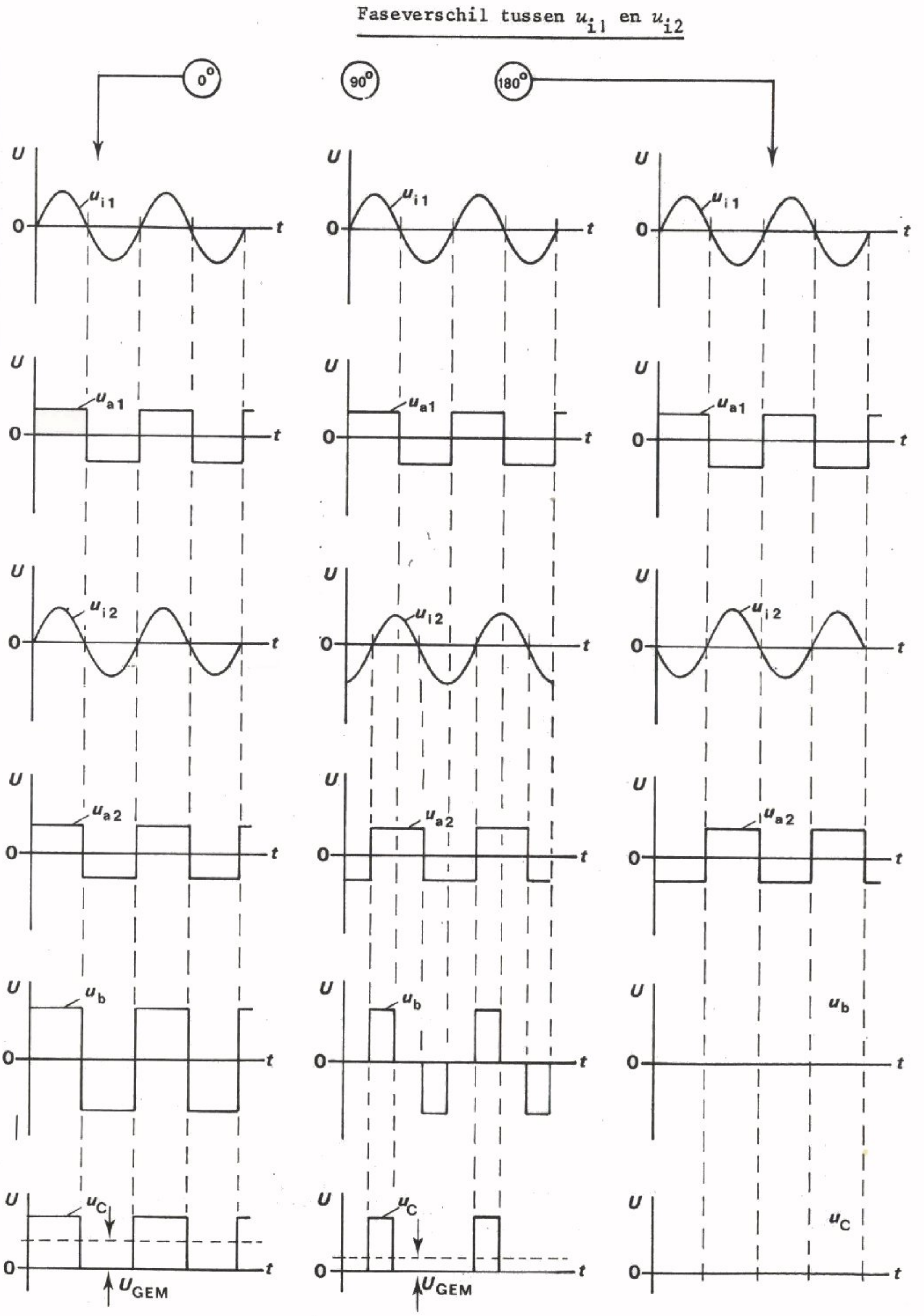
- Gevoeligheid : 1 mV
- Frequentiebereik: 10 Hz - 1 MHz
- Ingangsweerstand: 1 - 10 MΩ

OEFENING

Hieronder is het schaalkarakter van de meter M weergegeven.
Plaats de juiste getallen bij de deelstrepen.



TOELICHTING OP HET SYSTEEM VAN BLAD 17. - 18



DE OSCILLOSCOOP

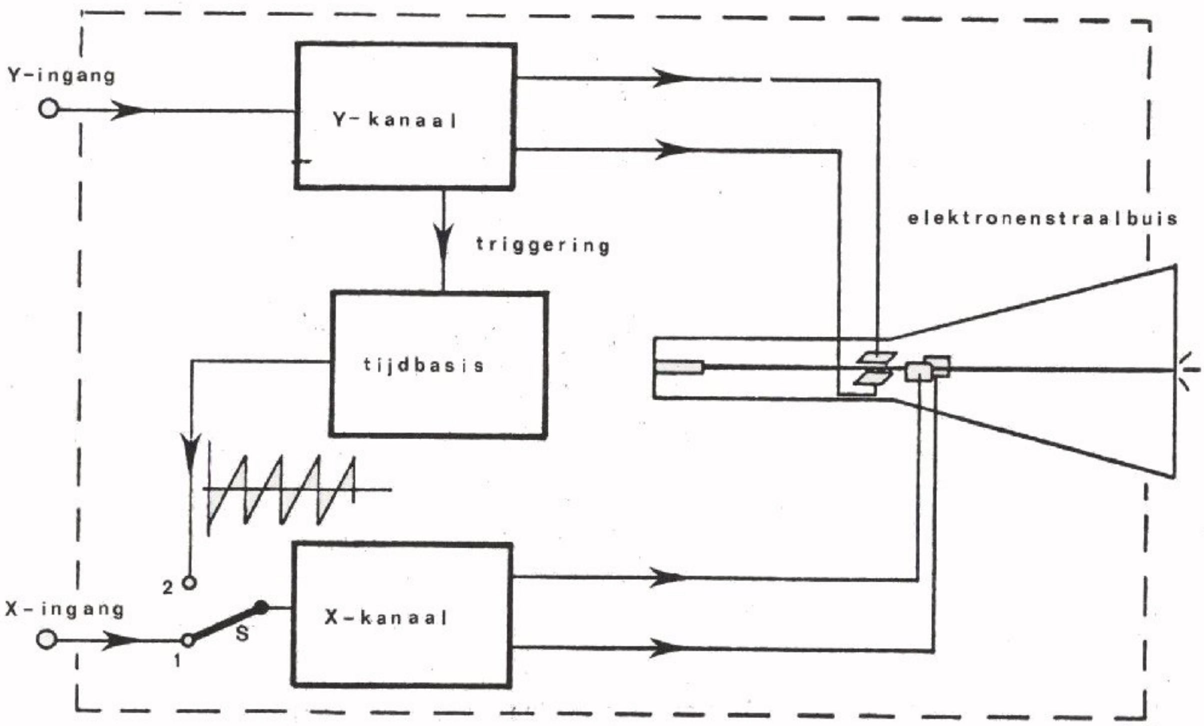
Tijdens deze cursus hebt u veelvuldig gebruik gemaakt van de oscilloscoop.
U hebt gemerkt dat het een veelzijdig meetapparaat is.
Men kan er zowel gelijk- als wisselspanning mee meten, óók niet-sinusvormige wisselspanningen.
Bovendien is het mogelijk tijden te meten: periodetijd, impulsduur, vertragingstijd, enz.

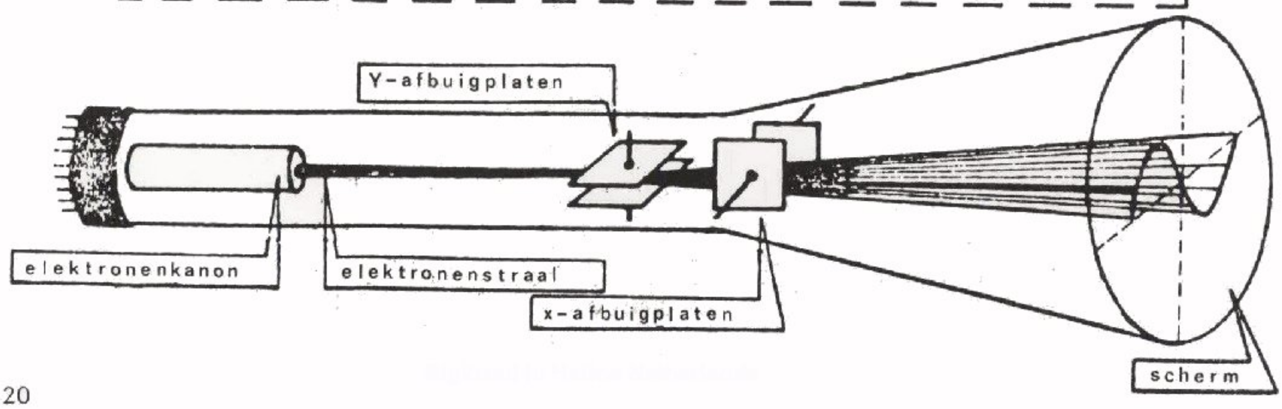
In het verloop van deze cursus is het blokschema van de oscilloscoop reeds aan de orde geweest.
We beperken ons hier tot een korte samenvatting van de werking en bekijken daarna een *deel* van de oscilloscoop wat nauwkeuriger.

VEREENVOUDIGD BLOKSCHEMA

Het inwendige van een oscilloscoop kan men in de volgende hoofdblokken verdelen:

- De *elektronenstraalbuis*.
- Het *Y-kanaal*.
- Het *X-kanaal*.
- De *tijdbasis*.





KORTE BESCHRIJVING VAN DE WERKING

- De *elektronenstraalbuis*.

  Na het inschakelen van de voedingsspanning, "schiet" het elektronenkanon een dunne straal elektronen op het scher.
  Op de plaats waar de elektronen het scherm treffen, verschijnt een lichtstip.

  De elektronenstraal kan in *verticale* richting afgebogen worden door een spanning aan te brengen tussen de Y-afbuigplaten.
  De lichtstip beweegt zich naar boven of naar beneden.

  Een afbuiging van de elektronenstraal in *horizontale* richting wordt verkregen door een spanning tussen de X-afbuigplaten.
  De lichtstip beweegt zich naar links of naar rechts.

- Het *Y-kanaal*.

  Hoe hoger de spanning tussen de afbuigplaten is, des te groter is de afbuiging van de elektronenstraal en de verplaatsing van de lichtstip.
  Bij een te kleine spanning verschuift de lichtstip nauwelijks.
  Bij een te hoge spanning valt de "landingsplaats" van de elektronenstraal buiten het scherm.

  De schakelingen die zich bevinden in het blok "Y-kanaal", zorgen ervoor dat de te meten spanning op de Y-ingang zóveel versterkt of verzwakt wordt, dat de spanning tussen de Y-afbuigplaten niet te groot of te klein is.

OPMERKING: U kunt dit vergelijken met het principe van de versterkervoltmeter, waarin de draaispoelmeter een bepaalde "eigen"-gevoeligheid heeft.
De ingangsspanning wordt zodanig versterkt of verzwakt dat een redelijke uitslag verkregen wordt.

- Het *X-kanaal*.

  De schakelingen die zich bevinden in het blok "X-kanaal" hebben dezelfde functie als die van het Y-kanaal.
  Spanningen die toegevoerd worden aan de X-ingang, worden door het X-kanaal verwerkt tot een "bruikbare" spanning tussen de X-afbuigplaten (schakelaar S in stand 1).

- De *tijdbasis*.

  Voor het meten van spanningen als functie van de *tijd*, hetgeen in het merendeel van de gevallen gewenst is, kan het X-kanaal verbonden worden met een interne "tijdbasis"-schakeling (S in stand 2).
  Deze schakeling bestaat uit een oscillator die een zaagtandspanning levert, waarvan de frequentie veranderd kan worden.

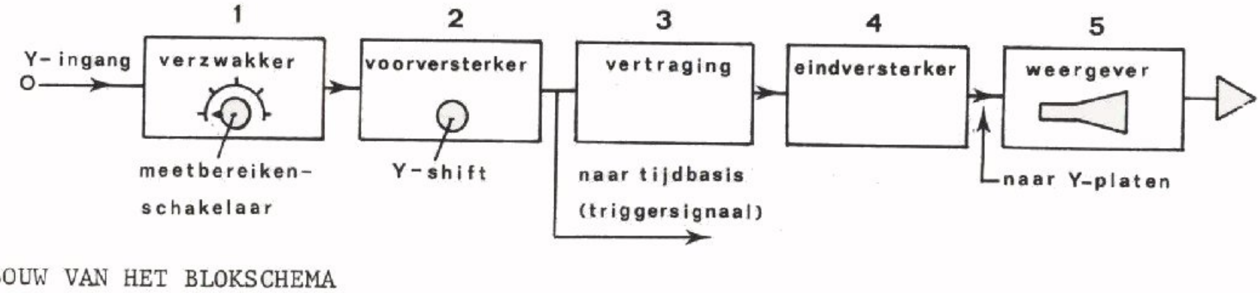
  Onder invloed van deze zaagtandspanning op de X-afbuigplaten, beweegt de lichtstip zich telkens met constante snelheid van links naar rechts over het scherm, en keert dan snel terug naar links.
  Wordt nu gelijktijdig de te meten spanning toegevoerd aan de Y-ingang dan zien we op het scherm het "verloop" (de "gedaante") van deze spanning als functie van de tijd.

- De *triggering*.

  Voor het verkrijgen van een "stilstaand beeld" moet de tijdbasis "in de pas lopen" met het Y-signaal.
  Daarom wordt de tijdbasis-oscillator "getriggerd" door het Y-signaal.
  (Over triggeren is het een en ander gezegd in C17).

HET Y-KANAAL VAN EEN OSCILLOSCOOP

Een oscilloscoop is een tamelijk ingewikkeld elektronisch systeem, opgebouwd uit vele functies.
We bespreken daarom niet het gehele blokschema, maar bekijken slechts een gedeelte daarvan wat nauwkeuriger, namelijk het *Y-kanaal*.



OPBOUW VAN HET BLOKSCHEMA

- De elektronenstraalbuis zet elektrische spanningen om in zichtbare beelden en is dus een *weergever* (blok 5).
  Een gangbare elektronenstraalbuis heeft tussen de Y-afbuigplaten een spanning van bijv. 30 V nodig om 1 cm verplaatsing van de lichtstip te verkrijgen. (Dit is een praktische waarde).

- Is de gevoeligheid van de Y-ingang van een oscilloscoop bijv. 10 mV/cm, dan hebben de *voorversterker* (blok 2) en de *eindversterker* (blok 4) samen een totale versterking van 3000. Ga dit voor jezelf na.

- Als we uitgaan van een schermdiameter van 10 cm, dan is de maximale spanning die de eindversterker moet kunnen leveren 300 V top-top-waarde.

- Op de ingang van de vóórversterker is de maximale spanning waarbij het beeld nog niet buiten het scherm valt, in dit geval een top-top-waarde van 100 mV.

- Spanningen op de Y-ingang die hoger zijn dan 100 mV moeten verzwakt worden. Daarvoor dient weer een ingangs*verzwakker* (blok 1).
  Hierin bevindt zich de meetbereikenschakelaar, die geijkt is in V/cm of mV/cm.

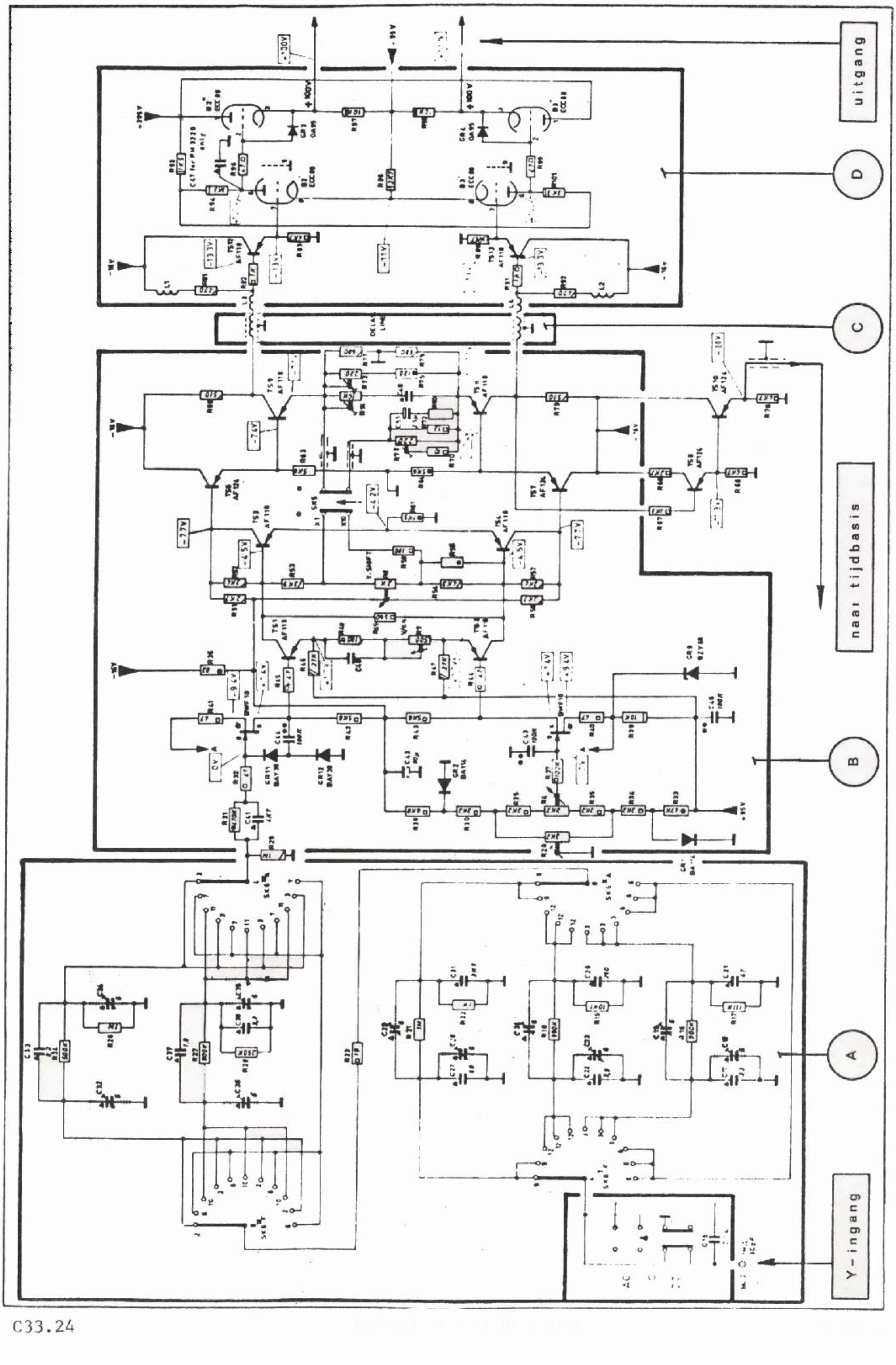
- In de vóórversterker is meestal de regelaar opgenomen waarmee het gehele beeld in verticale richting over het schrm verschoven kan worden: de "Y-SHIFT" of "Y-POSITION"-regelaar.
  Hiermee verandert men de *gelijk*spanning tussen de Y-afbuigplaten.

- Om te bereiken dat de X-afbuiging telkens iets eerder begint dan de Y-afbuiging, wordt het Y-signaal vertraagd t.o.v. het triggersignaal voor de tijdbasis.
  Voor dit doel treft men tussen de vóórversterker en de eindversterker een *vertraging* aan (blok 3).
  Het triggersignaal dat de tijdbasis moet starten, wordt vóór deze vertraging afgenomen.
  De tijdbasis start op een "commando" van het directe Y-signaal en "even later" arriveert het vertraagde Y-signaal op de Y-platen.

OEFENING

Noem een voorbeeld waarbij een oscilloscoop met vertraging van belang is.

PRINCIPESCHEMA VAN HET Y-KANAAL VAN EEN OSCILLOSCOOP



OEFENINGEN

Hier volgen een aantal vragen die betrekking hebben op het principeschema van blad 24.

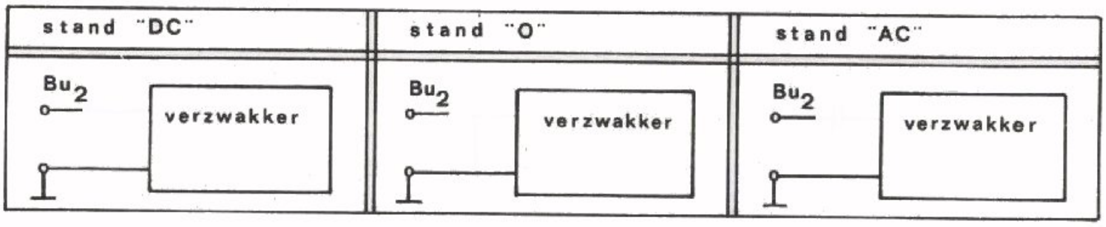
1. Noem de functie van de blokken A t/m D.

Blok	Functie
A	
B	
C	
D	

2. Blok A

   Aan de ingang bevindt zich een schakelaar met de standen: DC - 0 - AC.

- Teken voor elk van deze standen het ingangscircuit van de oscilloscoop.



- Waarvoor zijn deze standen bedoeld?
  - De stand "DC" gebruikt men voor:
  - De stand "0" is bedoeld om:
  - De stand "AC" gebruikt men voor:

3. Blok B

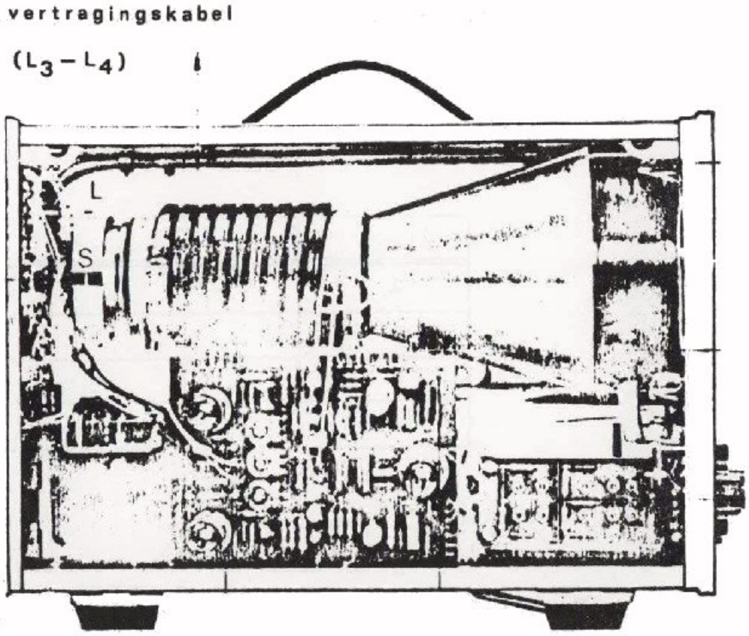
- Waarom past men aan de ingang van blok 2 *veldeffect-transistors* toe in plaats van "normale" transistors?
  - Omdat FET's meer kunnen versterken O
  - Omdat FET's bestand zijn tegen hoge voedingsspanningen O
  - Omdat FET's een hogere ingangsweerstand bezitten O
  - Omdat FET's hogere ingangsspanningen kunnen verdragen O

4. Blok C

Voor de vertraging wordt hier een tweeaderige vertragingskabel toegepast, die om de afschermbus van de elektronenstraalbuis is gewikkeld.

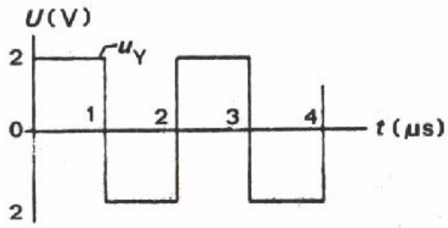
De kabel is 2 meter lang en heeft een zelfinductie van 2,5 μH/m en een capaciteit van 1 nF/m.

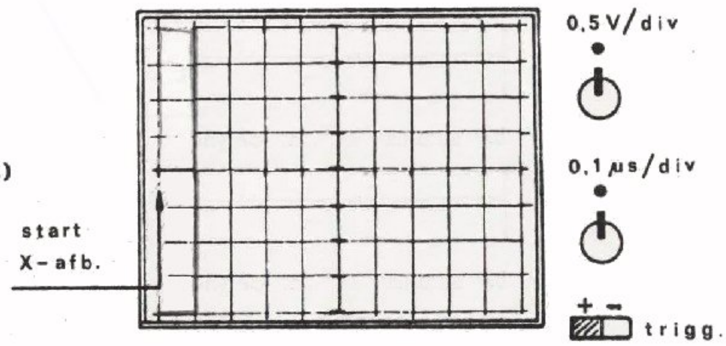
Bereken de vertragingstijd van deze kabel.



t_d = [ns]

● Aan de ingang van de oscilloscoop wordt een Y-signaal toegevoerd. Teken het beeld dat u op het scherm te zien krijgt.





5. Blok D

De eindversterker bevat de buizen B_2 en B_3.

● De uitgangsweerstand van deze schakeling is:

10 kΩ

20 kΩ

<< 10 kΩ

>> 20 kΩ

● Bepaal de volgende stroom- en spanningswaarde van B_2 en B_3.

U_{ak} = [ ] I_a = [ ]

6. Het triggersignaal voor de tijdbasis wordt afgenomen van de emitter van TS_{10}.

- Als de steilheid van TS_{10} in deze schakeling S = 50 mA/V is, hoe groot is dan bij benadering:

  - De spanningsversterking? $A_u \approx$ [ ]

  - De uitgangsweerstand? $R_u \approx$ [ ]

SAMENVATTING

- We hebben in deze les ervaren hoe ingewikkelde elektronische systemen met behulp van een functie-blokschema overzichtelijk kunnen worden weergegeven.

- Er zijn een aantal gangbare analoge systemen aan de orde geweest.
  - Een versterkervoltmeter voor wisselspanning.
  - Een versterkervoltmeter voor gelijkspanning.
  - Een versterkervoltmeter voor gelijk- én wisselspanning.
  - Een frequentiemeter.
  - Een fasemeter.
  - Een oscilloscoop.

- In deze blokschema's komen de volgende groepen van schakelingen voor:
  - Versterkers.
  - Verzwakkers.
  - Oscillators.
  - Voedingsschakelingen.
  - Omvormers.
  - Weergevers.
  - Vertragingsschakelingen.
  - Mengschakelingen.

- Het werken met functie-blokschema's sluit bijzonder goed aan bij het dagelijkse werk van de elektronica-technicus.
  - In toenemende mate wordt er in de analoge techniek gebruik gemaakt van IC's. IC's bevatten schakelingen met bepaalde functies. Zo zijn er IC's waarin complete versterkers zijn ondergebracht. De blokken in een blokschema komen dan overeen met de blokken (units) en een elektronisch apparaat.

  - De volgorde waarin de schakelingen van een systeem zijn gemonteerd komt vaak overeen met de volgorde van de blokken in een blokschema.

  - Als een technicus bezig is met het repareren of controleren van een elektronisch systeem heeft hij bewust of onbewust het blokschema van het systeem voor ogen.
    Per blok gaat hij na of ze goed functioneren. Hij volgt het signaal door het blokschema.

  - Blijkt een blok zijn functie niet goed uit te voeren dan moet hij dit verhelpen.
    Is het defecte blok een IC dan moet de technicus dit blok in zijn geheel door een ander vervangen; de defecte IC wordt weggegooid.

- Bij de technische gegevens van een elektronisch systeem worden meestal naast het principeschema ook een blokschema gegeven. Door vergelijking van beide kan men vrij gemakkelijk nagaan wat bepaalde onderdelen van een systeem doen of behoren te doen.

NAAM:

KLAS :

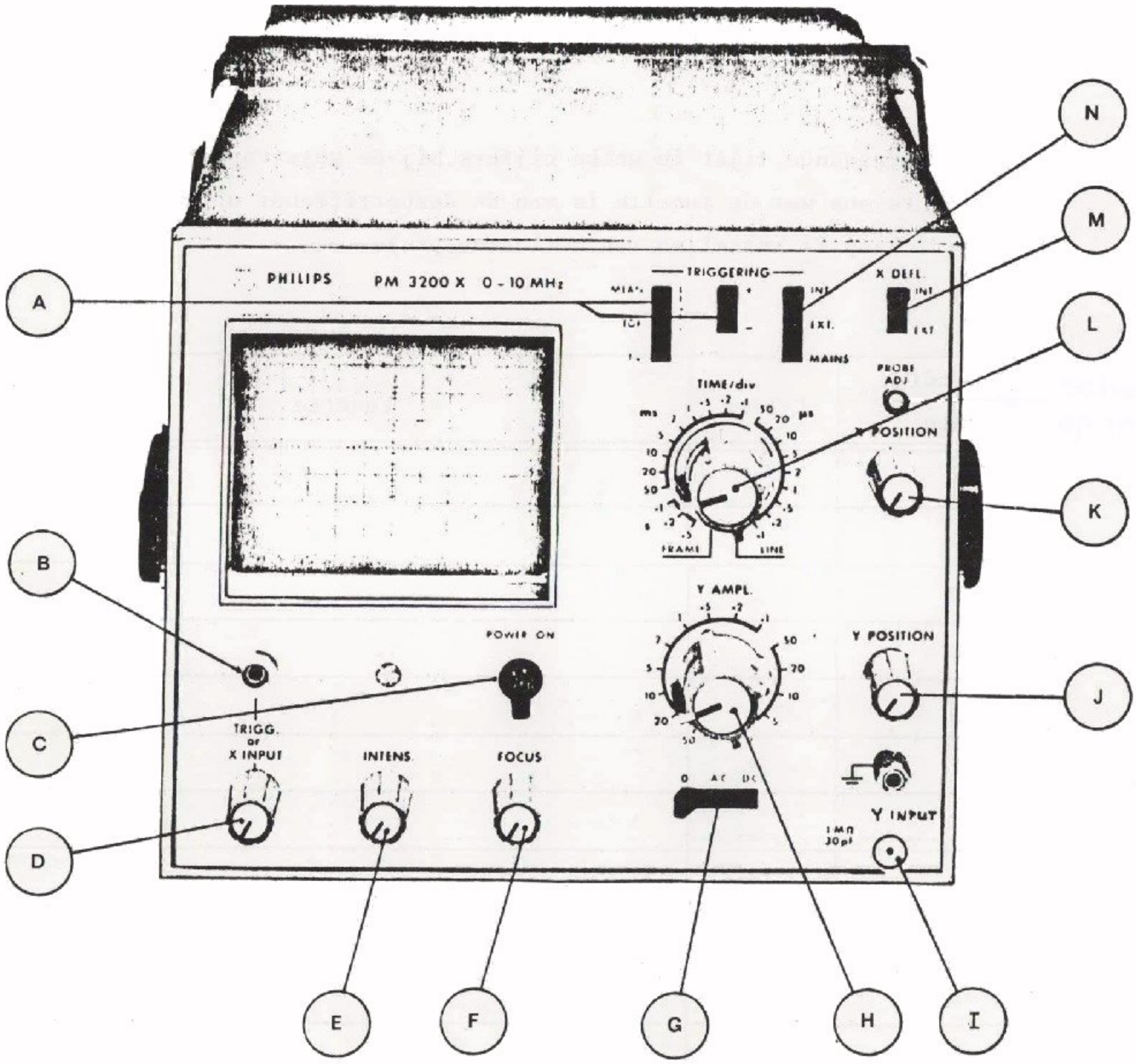
OEFENINGEN

Van een oscilloscoop is op blad 30 het voorfront afgebeeld en op blad 31 het functie-blokschema.
De bedieningsorganen en de ingangsbussen zijn op blad 30 aangegeven met de letters A t/m N. Op blad 31 is met de cijfers 1 t/m 15 weergegeven in welk gedeelte van het systeem zich bedieningsorganen en aansluitbussen bevinden.

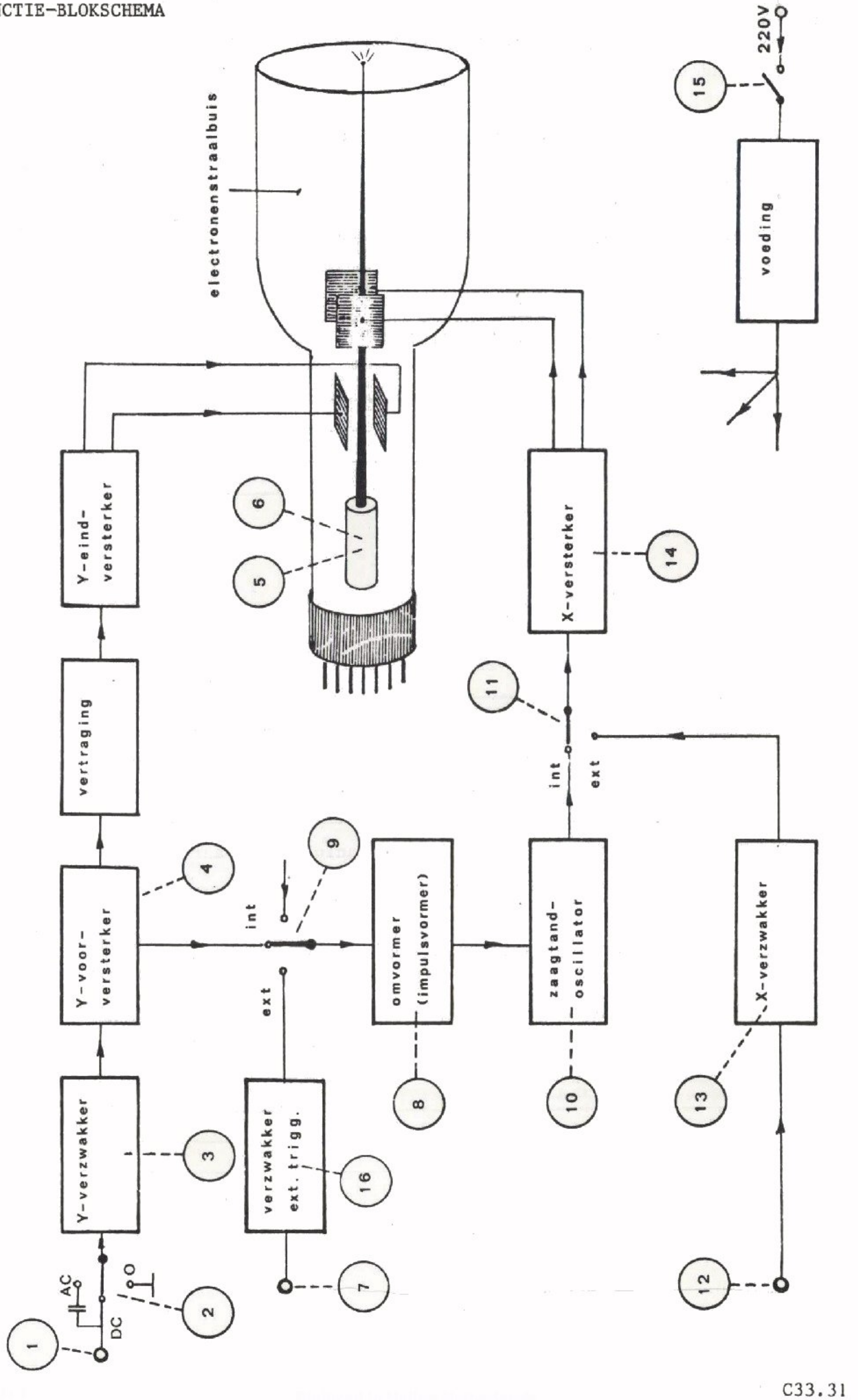
Vul in onderstaande lijst in welke cijfers bij de gegeven letters horen. Beschrijf tevens wat de functie is van de desbetreffende uitwendige organen (bijv. knop F: instellen van beeldscherpte).

Uitwendige organen	**Cijfer**	**Functie**
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		
I		
J		
K		
L		
M		
N		

VOORFRONT VAN EEN ENKELSTRAALOSCILLOSCOOP



HET FUNCTIE-BLOKSCHEMA



Neem de afbeeldingen op blad 22 en 23 voor u bij beantwoorden van de volgende vragen.

1. U hebt geen verticale afbuiging terwijl er voldoende spanning op de Y-ingang staat.

   - Welke bedieningsorganen kunnen foutief staan? (A.........N)

   - Welke blokken kunnen defect zijn?

2. De afbeelding staat niet stil.

   - Welk bedieningsorgaan kan foutief staan?

   - Welk blok kan defect zijn?

3. U wilt het verloop van een wisselspanning zichtbaar maken. U krijgt evenwel een verticale streep te zien.

   - Welk bedieningsorgaan kan foutief staan?

   - Welke blokken kunnen defect zijn?

4. Bij interne X-deflectie is er wél afbuiging; bij externe X-deflectie niet.

- Welk bedieningsorgaan kan foutief staan?

- Welk blok kan defect zijn?

5. U ziet geen lichtverschijnselen op het scherm, terwijl de oscilloscoop niet defect is.

- Welke bedieningsorganen kunnen foutief staan?

6. U ziet een wazig omlijnde afbeelding.

- Welk bedieningsorgaan moet bijgeregeld worden?

7. Het beeld is te donker.

- Welk bedieningsorgaan staat niet goed?

C 34

SYSTEMEN II

DE RADIO EN DE BANDRECORDER

DE BELANGRIJKSTE PUNTEN UIT DE VOORGAANDE LES

- Een systeem is een samenstel van schakelingen die uiteenlopende functies hebben.

- Een systeem kan overzichtelijk worden weergegeven m.b.v. een functie-blokschema. Elk blok stelt een schakeling met een bepaalde functie voor.

- In C33 zijn de volgende meetsystemen behandeld.:
  - Een versterkervoltmeter voor wisselspanning.
  - Een versterkervoltmeter voor gelijkspanning.
  - Een versterkervoltmeter voor gelijk- én wisselspanning.
  - een frequentiemeter.
  - Een fasemeter.
  - Een oscilloscoop.

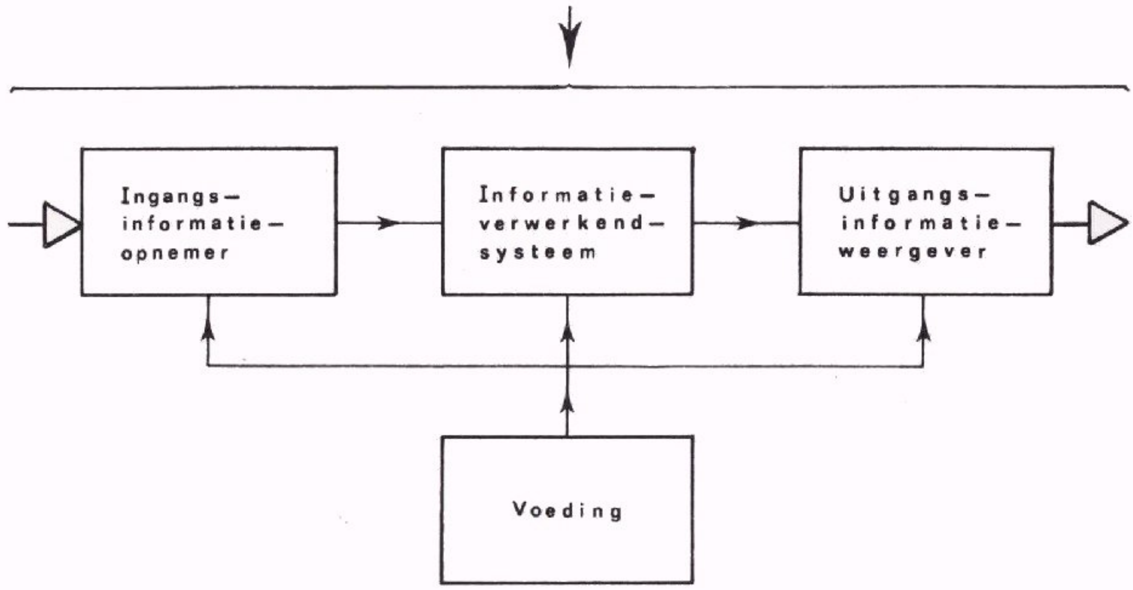
WAT ER IN DEZE LES WORDT BEHANDELD

In deze les gaan we ons bezighouden met de werking van een *radio-zender* en *ontvanger* en van een *audio-bandrecorder*.

Hoe gaan we te werk?

- Aan de hand van een *functie-blokschema* zal worden nagegaan hoe de informatie door het systeem wordt geleid.
- Aan de hand van *principe-schema's* worden een aantal praktische schakelingen belicht waarmee de diverse functies worden verwezenlijkt. We zullen alleen die schakelingen aan de orde brengen die in deze cursus zijn behandeld. Het zal dan ook niet zo moeilijk zijn deze schakelingen in het principe-schema van een systeem te herkennen.

Bij de in deze les te behandelen systemen heeft men te maken met zowel het informatie-opnemen als het informatie-verwerken en het informatie-weergeven.



DE RADIO

INLEIDING

De radio kennen we het beste door de radio-omroep. Het geluid dat in de studio wordt geproduceerd kunnen we op grote afstand waarnemen.

Geluidsinformatie kan op verschillende wijze worden getransporteerd.

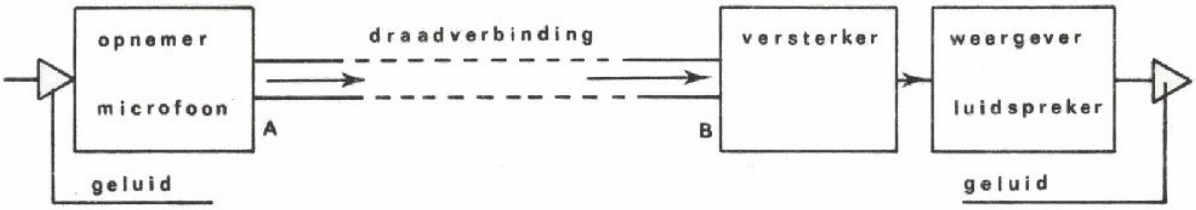
1. Via de *lucht* waarin de geluidsbron zich bevindt.
   De geluidsbron (bijv. een klok of een bel) veroorzaakt achtereenvolgens "luchtverdichtingen" en "luchtverdunningen". Deze luchttrillingen planten zich voort in de ruimte. Als zo'n trilling ons oor bereikt wordt het trommelvlies in hetzelfde ritme op en neer bewogen. Onze hersenen verwerken dit tot een geluidswaarneming. Op deze wijze van geluidsvoortplanting kunnen geen grote afstanden worden overbrugd. Tijdens de voortplanting treedt nl. veel energieverlies op.
   De voortplantingssnelheid van geluid via de omringende lucht is ongeveer:

340 m/s	300.000 m/s	300.000 km/s

2. Via *draadverbindingen* (zoals bijv. bij een huistelefoon).

Bij dit systeem wordt aan de zendzijde het geluid omgezet in een evenredige elektrische informatie (opnemer: de microfoon). Deze elektrische informatie wordt via een draadverbinding getransporteerd. Aan de ontvangzijde wordt de elektrische informatie weer omgezet in geluid (weergever: de luidspreker).

Ofschoon het tweemaal omzetten van informatie en ook het transport hiervan veel energie kost, kan men met dit systeem toch grote afstanden overbruggen. Dit is te danken aan het feit dat elektrische informatie op eenvoudige wijze kan worden versterkt.



De overdracht van A naar B gaat met een snelheid van ongeveer:

340 m/s	300.000 m/s	300.000 km/s

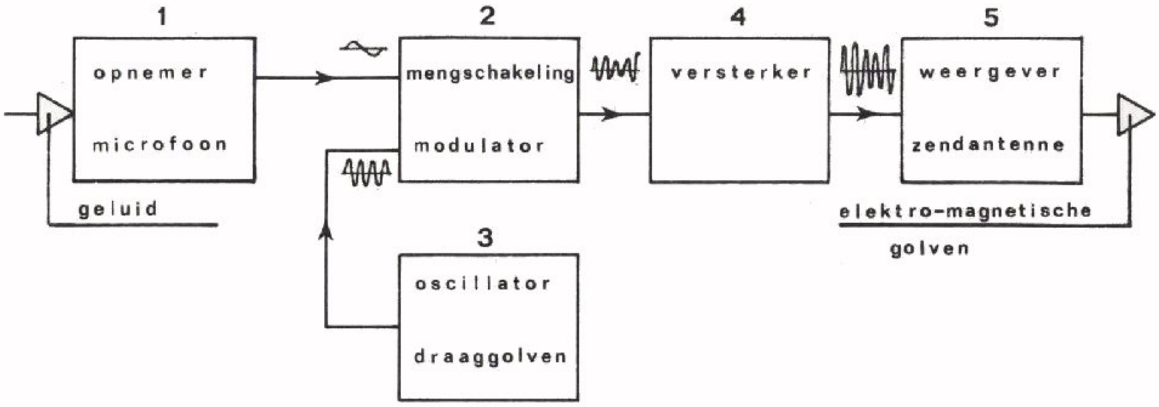
3. Geluidstransport via de *luchtledige ruimte*.

De ruimte is een medium waarin zich *elektro-magnetische* golven voortplanten. Deze manier van energie-transport wordt o.a. toegepast bij de *radio*. Hoe dit in zijn werk gaat, zullen we op het volgende blad uitleggen. De voortplantingssnelheid van elektro-magnetische golven is:

340 m/s	300.000 m/s	300.000 km/s

WAT GEBEURT ER AAN DE ZENDZIJDE VAN EEN RADIOVERBINDING?

Hieronder is het blokschema van een radiozender getekend.



De *werking*

- In de radiostudio wordt het geluid m.b.v. een microfoon omgezet in evenredige elektrische spanning (blok 1).

- Dit LF-signaal wordt niet direct uitgezonden. De LF-signalen van de diverse zenders zouden dan immers in de ruimte door elkaar komen. Aan de ontvangzijde zouden de afzonderlijke signalen niet meer uit elkaar te halen zijn.
  Daarom wordt met het LF-signaal vóór het uitzenden een HF-draaggolf gemoduleerd (blok 2).

- De draaggolf wordt geleverd door een sinusoscillator (blok 3). Elke zender heeft zijn *eigen* draaggolffrequentie, waardoor de verschillende zendersignalen aan de ontvangzijde van elkaar zijn te onderscheiden.

- Het gemoduleerde signaal (de draaggolf mét de geluidsinformatie) wordt zodanig versterkt (blok 4), dat voldoende vermogen beschikbaar komt om de zendantenne te voeden.

- Deze straalt het signaal in de vorm van elektro-magnetische golven de ruimte in. Een zendantenne is in principe een *weergever* (blok 5); elektrische spanningen worden omgezet in evenredige elektro-magnetische golven.

OEFENINGEN

Bij radiozenders wordt óf amplitude-modulatie (AM), óf frequentie-modulatie (FM) toegepast.

Vul in:

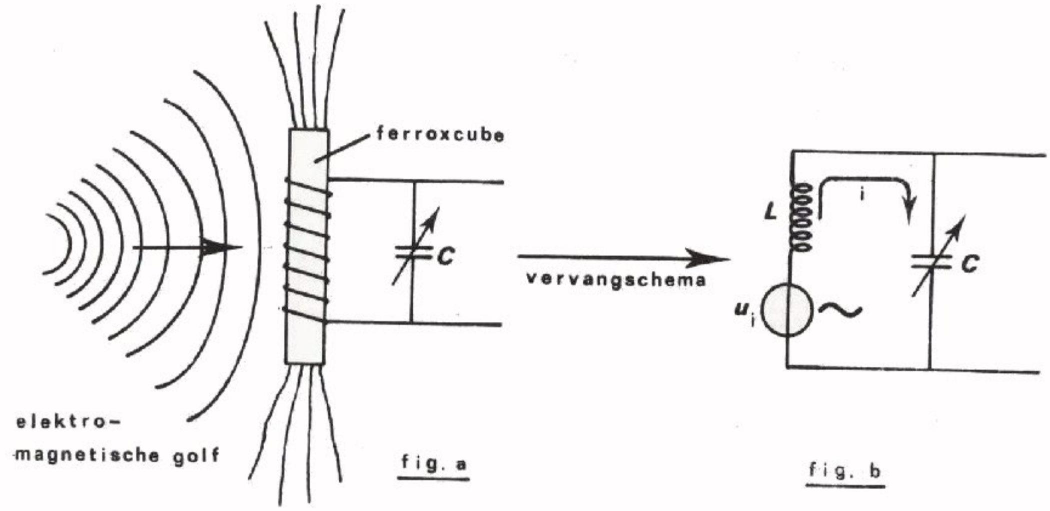
- Bij een AM-signaal varieert de ________ van de draaggolf in het ritme van het LF-signaal.

- Bij een FM-signaal varieert de ________ van de draaggolf in het ritme van het LF-signaal.

ONTVANGST VAN RADIO-GOLVEN

Aan de ontvangzijde van een radioverbinding plaatst men de antenne van de radio-ontvanger in het veld van elektro-magnetische golven.
Er zijn diverse soorten radio-ontvangantennen (zie C29). Voor de midden- en de lange-golf wordt vaak een ferriet-antenne (ferroceptor) gebruikt.
Een dergelijke antenne bestaat uit een staaf ferroxcube waar omheen een spoel is gewikkeld (zie fig. a). Ferroxcube heeft de eigenschap het magnetische veld van radio-golven naar zich toe te trekken. Ten gevolge van dit wisselende magnetische veld wordt er in de spoel een wisselspanning geïnduceerd. Het verloop hiervan is gelijk aan dat van de gemoduleerde wisselspanning van de zender.
Een ontvangantenne kan men dus als een opnemer beschouwen, die radio-golven omzet in evenredige wisselspanning.

HOE HET GEWENSTE SIGNAAL UIT DE VELE ANDERE ZENDERSIGNALEN WORDT GESELECTEERD



De geïnduceerde antennespanning u_i (zie fig. b) bevat de signalen van vele zenders.

Veronderstel dat de elektro-magnetische golven waarin de antenne is geplaatst afkomstig zijn van zenders met draaggolffrequenties van resp. 0,5 MHz, 1 MHz en 1,5 MHz. Veronderstel verder dat de *LC*-kring (d.i. een *serie*kring) m.b.v. de variabele condensator *C* is "afgestemd" op een resonantiefrequentie van 1 MHz. In dit geval vormt de *LC*-kring voor het (gewenste) zendersignaal van 1 MHz een *lage* weerstand (de kringstroom i is dan zeer *groot*). Voor de andere zender-signalen (0,5 MHz en 1,5 MHz) is de i van de kring verwaarloosbaar *klein*. Het resultaat hiervan is dat alleen het zendersignaal van 1 MHz een spanning over de condensator veroorzaakt. De andere signalen komen nauwelijks door.

Wenst men een andere zender te ontvangen, bijv. die van 0,5 MHz, dan stelt men de resonantiefrequentie van de *LC*-kring in op 0,5 MHz. Men selecteert dus de gewenste zender uit de anderen, door de *LC*-kring aan de ingang van de radio af te stemmen op een resonantiefrequentie die overeenkomt met de draaggolffrequentie van die zender.

OEFENING

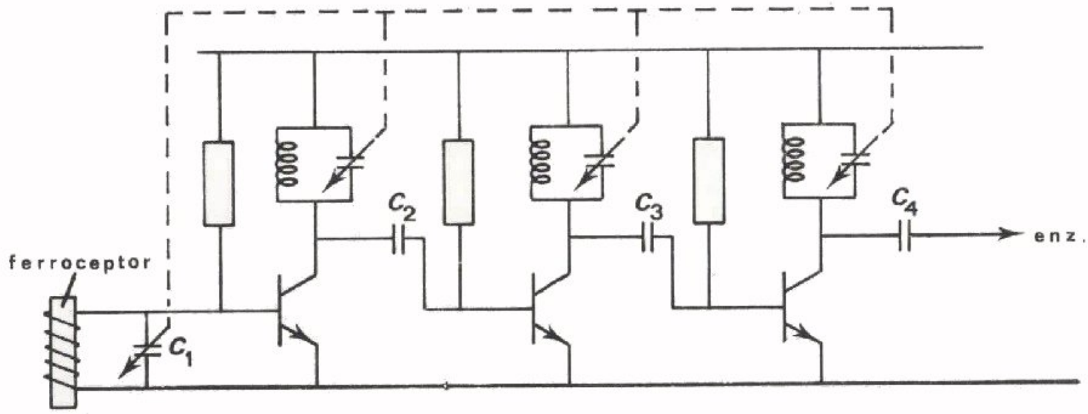
Van bovenstaande *LC*-kring is $L = 200\ \mu H$.

Op welke waarde moet men de variabele condensator *C* instellen om een zendersignaal van 0,5 MHz te kunnen ontvangen?

$C \approx$ [pF]

HOE KAN HET ANTENNESIGNAAL WORDEN VERSTERKT?

OP het vorige blad hebben we gezien hoe m.b.v. een variabele condensator een radio op de gewenste zender wordt afgestemd. De spanning van het gewenste signaal dat op deze wijze aan de ingang van de ontvanger beschikbaar komt, ligt in de orde van grootte van 100 µV. Het is te begrijpen dat dit signaal aanzienlijk moet worden versterkt voordat andere bewerkingen kunnen plaats hebben. Het versterken moet *selectief* gebeuren; d.w.z. alleen het signaal van de gewenste zender moet worden versterkt.
De meest voor de hand liggende schakeling om HF-spanningen selectief te versterken is in de volgende tekening weergegeven (deze schakeling kennen we al uit C7).



Bij het ontvangen van een zendersignaal van bijv. 100 kHz worden *alle* resonantiekringen op 100 kHz afgestemd (de variabele draaicondensators C_1, C_2, C_3 en C_4 zijn op één as gemonteerd).

- In deze situatie is voor het ingangssignaal van 100 kHz de weerstand

  van de resonantiekringen in de collectorleidingen **groot / klein** .

- De versterking voor dit signaal is dus **groot / klein** .

- De versterking voor signalen die niet in de buurt van 100 kHz liggen is

  groot / klein .

Bij het ontvangen van een andere zender, bijv. een zender op 1 MHz, worden m.b.v. de variabele condensators alle kringen afgestemd op 1 MHz. In dit geval treedt er maximale versterking op voor de gewenste zender van 1 MHz, terwijl de andere zenders bijna niet doorkomen.

In de praktijk blijkt deze schakeling tŏch niet te voldoen. We zullen een paar oorzaken noemen.

a. De benodigde afstemming bestaat uit een stelsel van vier of meer condensators. Zo'n combinatie is *duur*.
b. De versterking is niet gelijk bij de diverse afstemmingen. De weerstand van een praktische resonantiekring is immers bij uiteenlopende resonanties verschillend. Zo zal bij een afstemming van 100 kHz de weerstand van een kring bijv. 120 kΩ bedragen, en bij een afstemming van 500 kHz bijv. 70 kΩ.

De selectieve versterker zoals hierboven getekend wordt in moderne radio's dan ook niet toegepast. Op het volgende blad zal een "systeempje" worden behandel waarmee genoemde bezwaren worden omzeild.

EEN BETERE MANIER OM HET ANTENNESIGNAAL TE VERSTERKEN

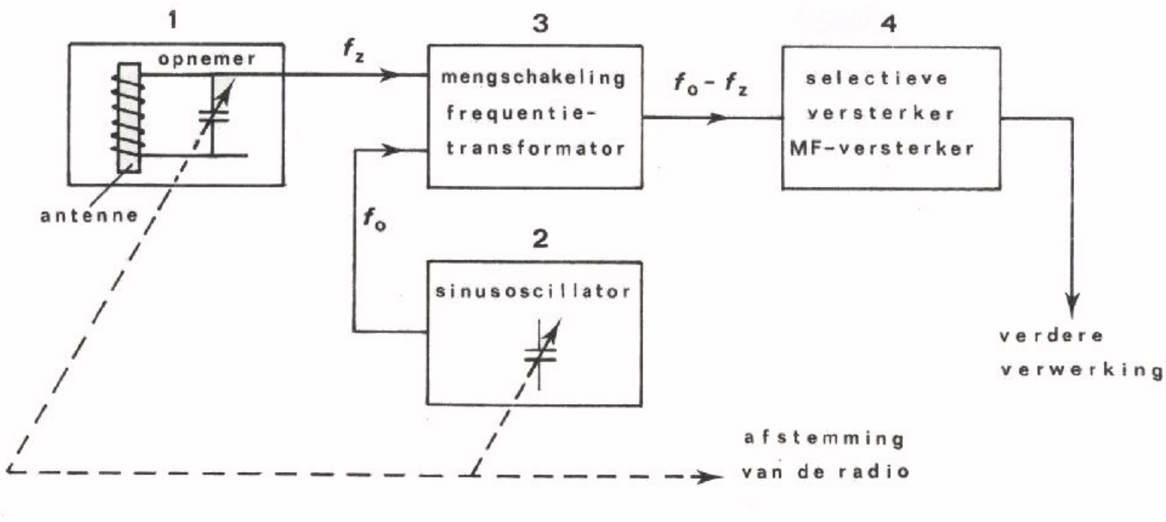
In moderne radio's wordt het antennesignaal versterkt m.b.v. een selectieve versterker die op *één vaste* frequentie is afgestemd. De nadelen van de schakeling van het vorige blad gelden dan niet meer. De zenders die ontvangen moeten worden hebben evenwel *uiteenlopende* draaggolffrequenties. Daarom worden de antennesignalen, vóórdat ze worden versterkt, verwerkt tot signalen met één *bepaalde* draaggolffrequentie. Deze signalen kunnen dan in een selectieve versterker die op deze bepaalde frequentie is afgestemd, gemakkelijk op de vereiste spanningswaarde worden gebracht.

Het systeem waarmee deze "frequentie-transformatie" tot stand komt noemt men het *super-heterodyne*-systeem. Het functie-blokschema is hieronder afgebeeld.

De volgende blokken komen hierin voor:

- Een *opnemer* met een antenne.
  Met behulp van de variabele condensator C_1 wordt de resonantiekring op de gewenste zenderfrequentie f_z afgestemd.
- Een *sinusoscillator* waarvan de frequentie continu regelbaar is.
  Men gebruikt hiervoor bijna altijd een *LC*-oscillator. De frequentie van de afgegeven sinusspanning (f_o) wordt ingesteld m.b.v. de variabele condensator C_2.
- Een *mengschakeling* die als frequentie-transformatie-schakeling dienst doet.
  Deze schakeling is in C32 behandeld. We weten van deze schakeling dat de frequentie van de uitgangsspanning gelijk is aan de *som* of het *verschil* van de frequenties van de ingangsspanningen.
  In dit systeem wordt gebruik gemaakt van het signaal met de *verschil*-frequentie (f_o - f_z).
- Een *selectieve versterker* zoals die op het vorige blad is afgebeeld, echter met het verschil dat de resonantiekringen op *één vaste frequentie* zijn afgestemd.
  Deze versterker noemt men de *midden-frequent*-versterker (afgekort: MF-versterker) van een radio.

BLOKSCHEMA



Op het volgende blad zullen we de werking van dit systeem uitleggen.

DE WERKING VAN HET SUPER-HETERODYNE SYSTEEM

Op blad 9 is het blokschema van dit systeem afgebeeld.

De werking is als volgt:

- De MF-*versterker* (blok 4) is afgestemd op bijv. 450 kHz. Dus alleen signalen met een frequentie van 450 kHz en in de buurt ervan worden versterkt.

- De *opnemer* van blok 1 is m.b.v. C_1 afgestemd op een gemoduleerd zendersignaal met een draaggolffrequentie f_z (f_z is bijv. 1 MHz).

- De *oscillator* van blok 2 levert een sinusspanning met een frequentie f_o. Met behulp van C_2 wordt f_o ingesteld op 1450 kHz.

- Het gemoduleerde zendersignaal met de draaggolffrequentie f_z en de sinusspanning met de frequentie f_o worden toegevoerd aan de afzonderlijke ingangen van de *frequentie-transformatie-schakeling* (blok 3).
  Op de uitgang van deze schakeling ontstaat dan een signaal met de oorspronkelijke modulatie en met een draaggolffrequentie van
  $f_o - f_z$ = 1450 kHz - 1000 kHz = 450 kHz.

- Op deze zogenaamde *middenfrequentie* is de MF-versterker afgestemd. Het nieuwe gemoduleerde signaal wordt aldus in de MF-versterker versterkt tot een spanning van een paar volt. Hoe de verdere verwerking plaats vindt, wordt op de pagina's 9 en 10 uitgelegd.

Bij het ontvangen van een zender op bijv. 1,2 MHz moet de frequentie van de sinusspanning 1650 kHz zijn (1200 kHz + 450 kHz). Als f_z = 800 kHz moet f_o = 1250 kHz zijn, enz.
Voor het afstemmen van een radio moeten C_1 en C_2 dus *tegelijk* worden geregeld. In de praktijk zijn de draaicondensators C_1 en C_2 op één as gemonteerd.

OEFENING

Het middengolf-gebied van een AM-ontvanger loopt van 500 kHz naar 1,5 MHz. De middenfrequentie is 450 kHz.

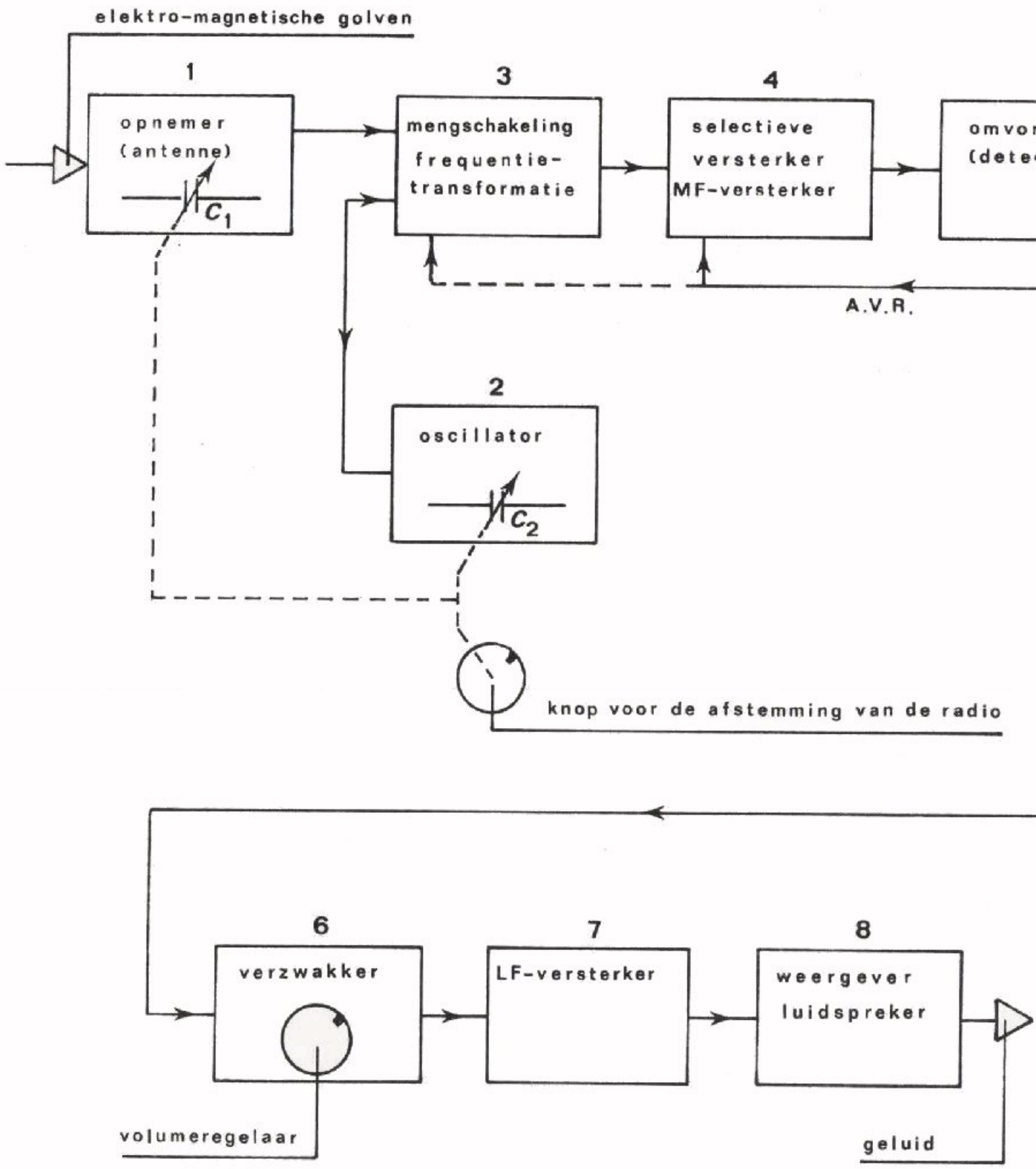
- Tussen welke waarden ligt het frequentiebereik van de sinusoscillator?

Frequentiebereik | van kHz tot kHz | .

- Is het capaciteitsverloop van C_1 gelijk aan dat van C_2? | ja / neen |

Verklaar uw antwoord.

BLOKSCHEMA VAN EEN RADIO-ONTVANGER



UITLEG BIJ HET BLOKSCHEMA VAN BLAD 12

Een radio-ontvanger werkt als volgt:

- De blokken 1, 2, 3 en 4 aan de ingang van de ontvanger vormen het superheterodyne-systeem waarover op de pagina's 8 en 9 is gesproken.
  De *opnemer* (blok 1) met de ontvangantenne zet elektro-magnetische golven om in evenredige spanningen.
  Met behulp van C_1 en C_2 wordt de ontvanger op het gewenste zendersignaal afgestemd.
  Het gemoduleerde signaal van de gewenste zender wordt samen met een sinusspanning, die m.b.v. een oscillator (blok 2) wordt opgewekt, toegevoerd aan een *mengschakeling* (blok 3). Op de uitgang hiervan ontstaat een gemoduleerde MF-signaal.
  Dit signaal wordt in een MF-*versterker* (blok 4) versterkt. Bij AM-ontvangers is de MF-versterker afgestemd in de buurt van 450 kHz; bij FM-ontvangers op 10,7 MHz. Aan de uitgang van de MF-versterker ontstaat een gemoduleerde spanning van 1 à 2 volt.

- In blok 5 wordt m.b.v. een *detector* (zie C22) de LF-informatie gescheiden van de draaggolf. Bij AM-ontvangers is hiervoor een AM-detector nodig; in FM-ontvangers gebruikt men een FM-detector.

- Het LF-signaal wordt *versterkt* in blok 7. Het uitgangsvermogen van de LF-versterker moet groot genoeg zijn om de luidspreker van blok 8 uit te sturen.

- De *weergever* (blok 8) zet elektrische wisselspanningen om in een evenredig geluid. Dit geluid komt overeen met het geluid dat op nagenoeg hetzelfde moment in de radio-studio op honderden kilometers afstand wordt weergegeven.

- Met behulp van de verzwakker van blok 6 wordt de sterkte van het ontvangen geluid geregeld.

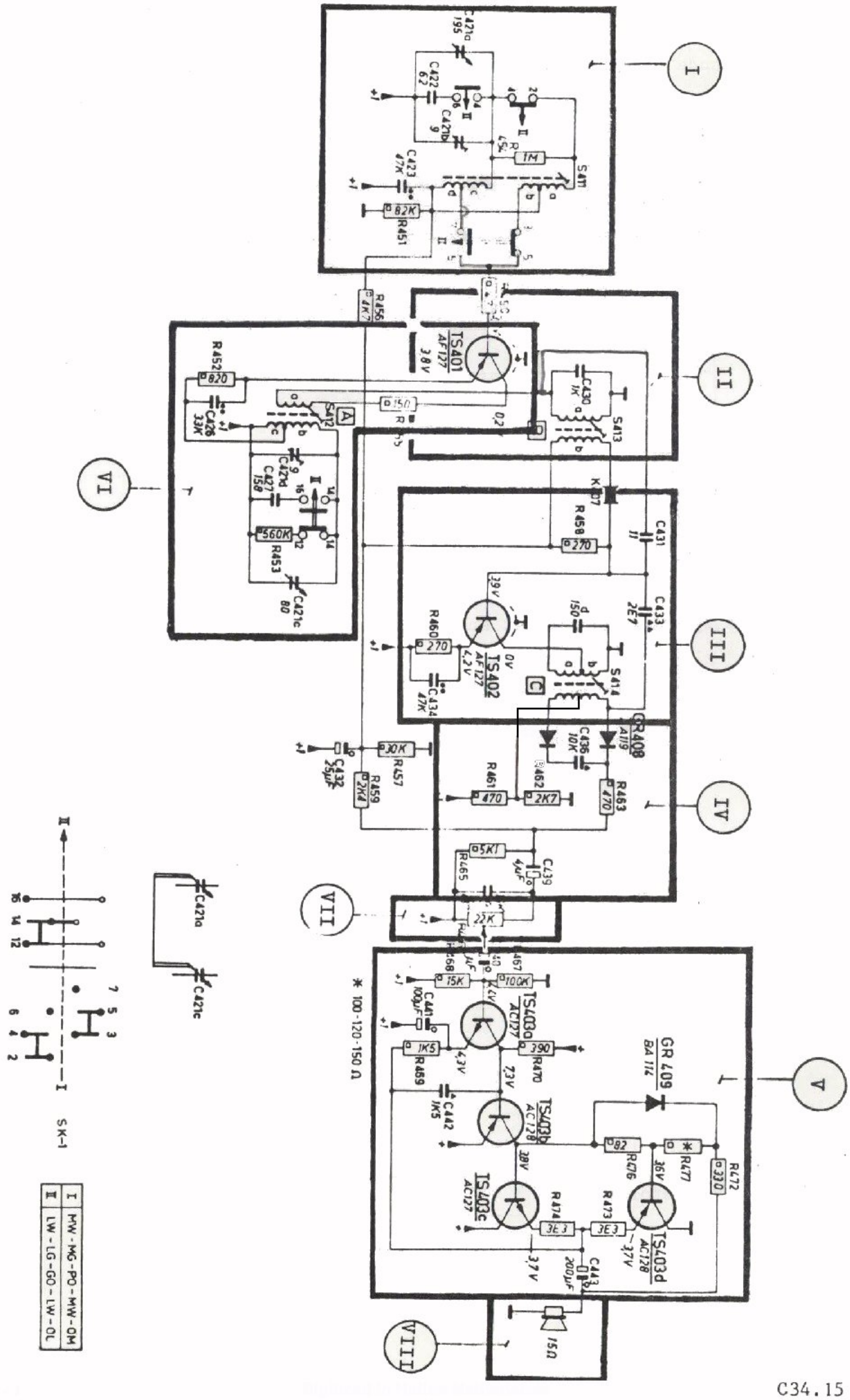
OPMERKING

In het blokschema van de AM-ontvanger zien we een verbinding van blok 5 naar blok 4. Deze verbinding vormt de zogenaamde *automatische-volume-regeling* (A.V.R.). De A.V.R. heeft ten doel dat "sterke" en "zwakke" zenders evenhard doorkomen.

Hoe komt dit tot stand?

De detector levert buiten het LF-signaal ook nog een gelijkspanning. Deze gelijkspanning is ongeveer gelijk aan de amplitude van de *draaggolf* die aan blok 5 wordt toegevoerd. Bij ontvangst van een sterke zender ontstaat dus een grote gelijkspanning; bij ontvangst van een zwakke zender komt een kleine gelijkspanning beschikbaar. M.b.v. deze gelijkspanning wordt de instelling van de transistor(s) van de MF-versterker beïnvloedt. Bij ontvangst van een sterke zender wordt de transistor(s) ingesteld in een gebied met kleine steilheid; de MF-versterking is dan minder. Bij ontvangst van een zwakke zender gebeurt het omgekeerde.
Vaak wordt de A.V.R.-spanning ook teruggevoerd naar de mengtrap (blok 2). Men bereikt dan dat de uitgangsspanning van de mengschakeling kleiner wordt bij ontvangst van sterke zenders, en groter bij ontvangst van zwakke zenders.

PRINCIPESCHEMA VAN EEN AM-ONTVANGER (voor middengolf en lange-golf)



OEFENINGEN

De volgende vragen hebben betrekking op het prinicpe-schema van blad 15.

1. Noem de functies van de blokken I t/m VIII.

Blok	Functie
I	
II	
III	
IV	
V	
VI	
VII	
VIII	

2. Welke spoelen zijn op de ferriet-antenne gewikkeld?

Deze spoelen zijn in het schema aangegeven met [S]

Waarom gebruikt men *twee* spoelen rond de ferriet-antenne?

Antwoord: [ ]

3. Welke condensators vormen de afstemming van de radio?

De afstemcondensators zijn in het schema weergegeven met

[*C*] en [*C*]

4. Transistor TS401 vervult twee funties.

Deze zijn:
a.
b.

5. De oscillator is een **RC / LC** type.

6. Gegeven is dat de primaire van de spoel S414 (a + b) een zelfinductie heeft van 600 μH; de parasitaire capaciteit is 20 pF.

Hoe hoog is van deze radio de middenfrequentie? $f_M \approx$ [ ]

7. Wijs in het schema de A.V.R.-verbinding aan.

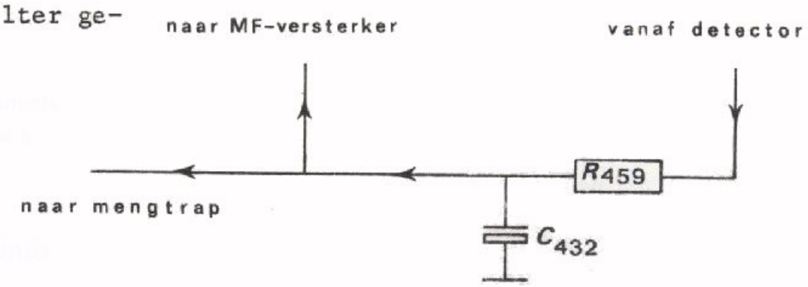
Deze loopt van blok [ ] naar blok [ ] en

via blok I naar blok [ ]

De regeling vindt plaats op de **emitter / basis / collector**

van de transistors TS en TS

8. In de A.V.R.-leiding is nevenstaand *RC*-filter geplaatst.



De bedoeling van dit filter is:

De LF-spanning te blokkeren en de A.V.R.-spanning door te laten.
De A.V.R.-spanning te blokkeren en de LF-spanning door te laten.
De A.V.R.- én LF-spanning beide te blokkeren.
De A.V.R.- én LF-spanning beide door te laten.

9. De transistors TS403 a t/m d zijn **gelijkspannings / wisselspannings** gekoppeld.

Blok V in zijn geheel laat **wel /geen** gelijkstroom door.

10. De versterker van blok V is sterk tegengekoppeld.

Wijs deze tegenkoppeling in het schema aan.

Deze loopt vanaf *C* naar de emitter van TS

DE BANDRECORDER

INLEIDING

De "audio"-bandrecorder is een apparaat waarmee geluidsinformatie kan worden *vastgelegd* en ook kan worden *weergegeven*.

Noem drie methoden om muziek of spraak te bewaren.

Antwoord:

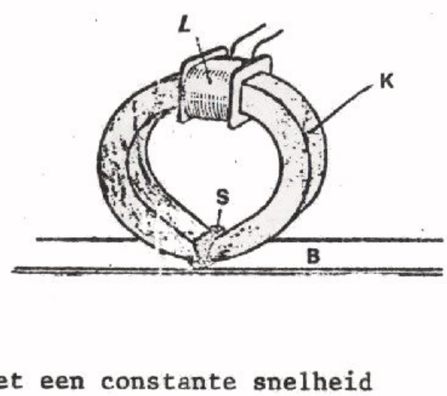
1. ______________________

2. ______________________

3. ______________________

Bij een bandrecorder maakt men gebruik van magneetband om geluidsinformatie vast te leggen.

Het *inbrengen* van spraak of muziek op een magneetband gebeurt m.b.v. een zogenaamde *magneetkop* (zie C28). De werking hiervan zullen we nog even in het kort herhalen (zie figuur).



Door de spoel *L* vloeit een wisselstroom die (via een versterker) afkomstig is van een microfoon.
Deze stroom veroorzaakt een wisselend magnetisch veld in de "ijzer"-kern K en ook in de luchtspleet S.
Dit veld steekt iets buiten de spleet uit.
Hierdoor onstaat in de magneetband B, die met een constante snelheid langs de luchtspleet wordt getrokken, een magnetiseringspatroon.
Dit patroon is een getrouwe afspiegeling van het verloop van het oorspronkelijke geluid. Een gemagnetiseerde band kan een nagenoeg onbeperkte tijd worden bewaard.

Bij het *uitlezen* van een gemagnetiseerde band (C27) gebruikt men eenzelfde magneetkop als bij het opnemen.
Dit gaat als volgt:
De band wordt met dezelfde snelheid en in dezelfde richting langs de luchtspleet getrokken. Hierdoor ontstaat er in de spleet en ook in de kern een wisselend magnetisch veld. Dit veroorzaakt een inductiespanning in de spoel. Deze spanning heeft hetzelfde verloop als het magnetisatiepatroon van de band. De spanning wordt (via een versterker) toegevoerd aan een luidspreker.

Noodzakelijk voor een natuurgetrouwe registratie en reproduktie van geluid is, dat de breedte van de luchtspleet van de magneetkop bijzonder klein moet zijn. Op het volgende blad zullen we dit toelichten.

DE LUCHTSPLEET VAN EEN OPNEEM-WEERGEEFKOP MOET BIJZONDER KLEIN ZIJN

De breedte van de luchtspleet van een magneetkop voor opname en weergave is in de praktijk 2 à 3 µm. Deze kleine afmetingen zijn nodig om een natuurgetrouwe registratie en reproduktie van het geluid te verkrijgen. Het volgende getallen-voorbeeld zal dit verduidelijken.

Stel dat een sinusvormig signaal met een frequentie van 10.000 Hz (periodetijd: 100 μs) moet worden *opgenomen*. Stel verder dat de luchtspleet van de magneetkop zo breed is, dat een ijzer-deeltje op de band in 100 μs de luchtspleet passeert.
In dit geval zal het ijzerdeeltje tijdens het passeren van de luchtspleet zowel positief als negatief worden gemagnetiseerd. Na het passeren van de luchtspleet houdt het ijzerdeeltje een vrij willekeurige magnetisatie over. Bij het volgende ijzerdeeltje gebeurt hetzelfde, enz.
Dit is natuurlijk niet de bedoeling. De magnetisatie van een punt op de band moet overeenkomen met *één* moment van het sinusverloop van het op te nemen signaal.
Dit kan men bereiken door de luchtspleet van de opnamekop zeer klein te maken, óf door toepassing van een grote snelheid van de band, óf beide
Een grote band-snelheid heeft evenwel het bezwaar dat de *capaciteit* van de band evenredig afneemt.

Ook bij het *uitlezen* van een band moet de luchtspleet klein zijn.
In fig. a is een willekeurig gemagnetiseerde band getekend die langs een magneetkop met een *kleine* luchtspleet wordt getrokken. (De pijlen stellen de gemagnetiseerde deeltjes voor). Fig. b geeft dezelfde band, nu echter gecombineerd met een magneetkop met een *grote* spleet.

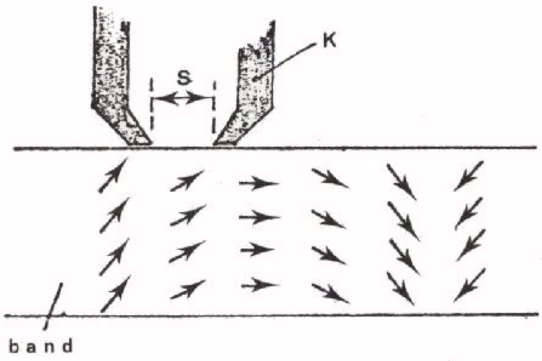


fig. a

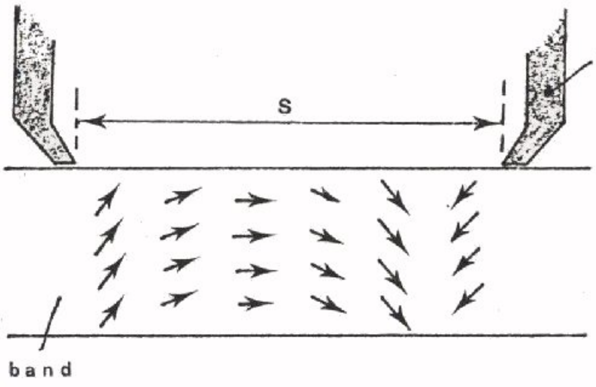


fig. b

De combinatie van fig. a werkt *goed*. In de magneetkop worden achtereenvolgens magnetische velden ontwikkeld die overeenkomen met het magnetisatiepatroon op de band.
De combinatie van fig. b werkt *niet goed*. De luchtspleet is te groot. Het magnetische veld dat hierin ontstaat is evenredig met het *gemiddelde* van het magnetisatiepatroon op de band.

VOORMAGNETISATIE BIJ HET OPNEMEN

Ter verhoging van de geluids*kwaliteit* wordt bij het opnemen van geluid een zogenaamde *voormagnetisatie* toegepast.

Voormagnetisatie houdt in dat tijdens het opneemproces een HF-stroom door de opneemkop wordt gevoerd. Deze stroom wordt dus "gemengd" met de stroom afkomstig van de microfoon. De voormagnetisatiestroom heeft een frequentie van 50 kHz tot 100 kHz; dus onhoorbare frequenties.

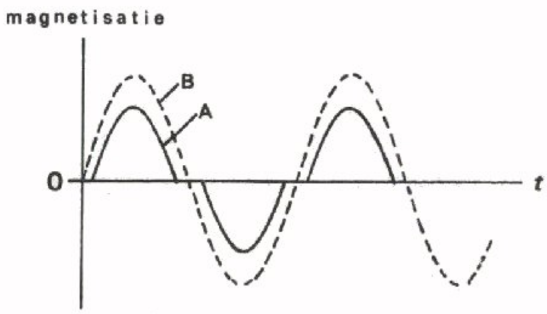
Wat gebeurt er t.g.v. de voormagnetisatie?

Om dit uit te leggen gaan we even naar de toestand dat geen voormagnetisatie wordt toegepast.
Bij het opnemen blijkt dan dat de zwakke passages in het geluid niet worden geregistreerd.
Dit effect is het gevolg van bepaalde eigenschappen van het magnetische materiaal van de band.
Bij een *zwak* magnetisch veld (kleine stroom door de opnamekop; zwakke geluidspassages), worden de ijzerdeeltjes van het magnetische materiaal nauwelijks bewogen. Bij het wegvallen van de stroom vallen ze weer terug in hun oorspronkelijk toestand. Dit is te vergelijken met een gespannen veer die wordt losgelaten. Eerst wanneer de veldsterkte een bepaalde drempelwaarde overschrijdt, gaan de ijzerdeeltjes zich richten.

Bij voormagnetisatie wordt aan de opneemkop een HF-stroom toegevoerd met een dusdanige amplitude dat bovengenoemde drempel wordt overwonnen. De ijzerdeeltjes zijn dan constant in beweging. Het materiaal is dan ook gevoelig voor het magnetische veld afkomstig van de stroom die de geluidsinformatie bevat.

Hiernaast is weergegeven wat het effect is van voormagnetisatie.

Kromme A geeft de magnetisatie op de baan weer wanneer *geen* voormagnetisatie wordt toegepast.



Kromme B geeft het verloop van de magnetisatie wanneer *wel* voormagnetisatie wordt toegepast.

In beide gevallen is de LF-stroom door de opnamekop sinusvormig.

De voormagnetisatie-stroom wordt geleverd door een sinusoscillator die in de bandrecorder is ingebouwd. Van deze oscillator wordt ook het signaal afgenomen waarmee de band kan worden uitgewist. Hoe dit gebeurt leest u op de volgende pagina.

OEFENING

De luchtspleet van een opneem- en weergeefkop is 1,9 μm breed.
De magneetband beweegt met een snelheid van 19 cm/s.

In hoeveel tijd passeert een punt op de band de luchtspleet?

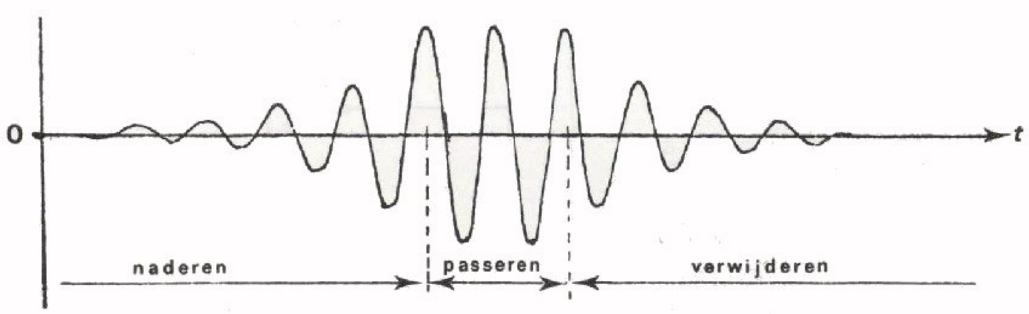
t = [μs]

HET WISSEN VAN EEN GEMAGNETISEERDE BAND

Het voordeel van magneetband t.o.v. andere "geheugens" voor geluid is: de mogelijkheid om het magnetisatie-patroon *uit te wissen*, waarna deze band opnieuw kan worden gebruikt.

Voor het uitwissen van een gemagnetiseerde band wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde *wiskop*. Het verschil tussen een wiskop en een opneem-weergeefkop is, dat een wiskop een veel *grotere* luchtspleet heeft.

Het "wissen" gebeurt als volgt:
De te wissen band loopt langs de luchtspleet van de wiskop. De spoel van de wiskop wordt bekrachtigd met een sterke wisselstroom afkomstig van een interne sinusoscillator. De frequentie van de stroom ligt in de praktijk tussen 50 kHz en 100 kHz.
Ten gevolge van deze stroom ontstaat er een sterk magnetisch wisselveld in de luchtspleet. Als gevolg van de hoge wisfrequentie enerzijds en de brede luchtspleet anderzijds zullen de ijzerdeeltjes van de band tijdens het passeren van de wiskop enige malen van magnetisatie veranderen.
Elk ijzerdeeltje ondervindt tijdens het wissen een magnetisch veld H dat verloopt volgens onderstaande figuur.



Bij het naderen van de spleet heeft het wisselveld een toenemende amplitude, bij het passeren van de spleet blijft de amplitude constant, daarna neemt de amplitude weer af tot nul. De magnetisatie van de ijzerdeeltjes volgt dit verloop. Het resultaat is dat de magnetisatie van de band geleidelijk naar nul vordt gevoerd.
De sterkte van het veld in de luchtspleet moet tenminste zo groot zijn dat de magnetisatie van de sterkste geluidspassages wordt uitgewist.

OEFENING

Een bandrecorder is uitgerust met *twee* magneetkoppen.
Waarvoor dienen deze koppen?

De ene magneetkop dient voor het [en] .

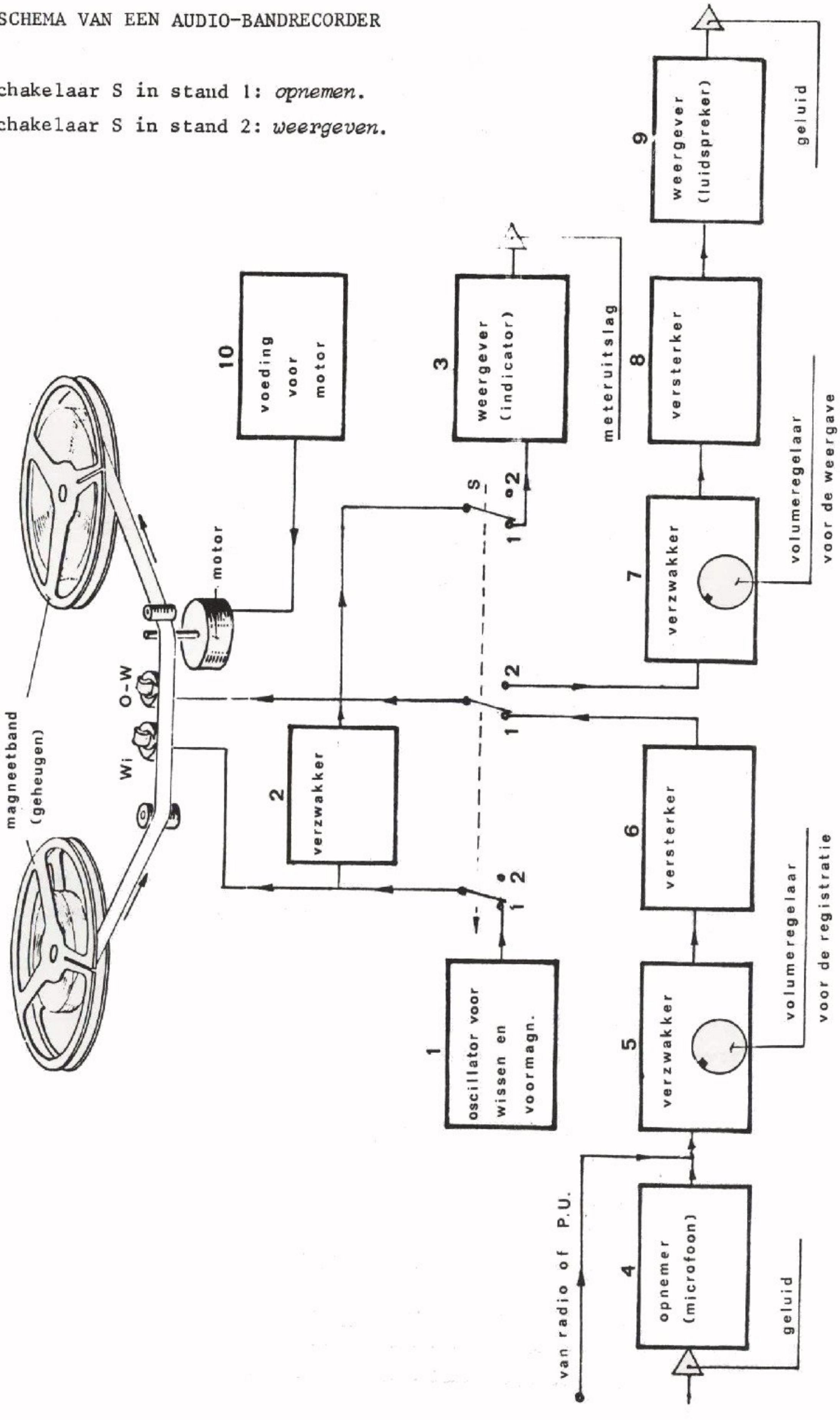
De andere magneetkop dient voor het [ ] .

Welke magneetkop heeft de kleinste luchtspleet?

Antwoord: [ ]

FUNCTIE-BLOKSCHEMA VAN EEN AUDIO-BANDRECORDER

Schakelaar S in stand 1: *opnemen*.
Schakelaar S in stand 2: *weergeven*.



BESCHRIJVING BIJ HET BLOKSCHEMA VAN BLAD 24

De hoofdbestanddelen van een bandrecorder zijn:
- Het mechanisme voor het transporteren van de magneetband.
- Het elektronische systeem voor het verwerken van het geluid.

Het bandtransport-mechanisme wordt aangedreven door een elektromotor, die gevoed wordt door blok 10. Bij het *opnemen* wordt de band achtereenvolgens langs de wiskop (Wi) en de opneem-weergeefkop (O-W) getrokken.

Bij het *weergeven* wordt de wiskop niet gebruikt.
De snelheid waarmee de band wordt getransporteerd moet in beide gevallen vanzelfsprekend gelijk zijn. De bij bandrecorders toegepaste snelheden zijn internationaal vastgelegd en zijn: 76, 38, 19, 9,5, 4,75 en 2,4 cm per sec. Bij niet-professionele toepassingen wordt voor top-kwaliteit een bandsnelheid van 19 cm/s toegepast.

Bij *lage* snelheden komen de signalen met **hoge / lage** frequenties in gedrang.
Het nadeel bij *hoge* snelheden is dat de capaciteit van de band

groter / kleiner wordt.

Het transportmechanisme is zo geconstrueerd dat bij het *terugzoeken* van geregistreerde informatie, de band snel voor- en achteruit kan worden bewogen. In dit geval zijn beide koppen buiten bedrijf.

Het elektronische systeem van een bandrecorder bestaat ook uit een opneemgedeelte en een weergeefgedeelte.

Bij het opnemen staat de schakelaar S in stand 1.

- Het op te nemen geluid wordt m.b.v. een microfoon omgezet in evenredige wisselspanningen (blok 4).

- Dit signaal (of geluidssignalen van radio of pick-up) worden via een verzwakker (blok 5) en een versterker (blok 6) toegevoerd aan de opneemkop (O-W).
  De knop van de verzwakker wordt zo ingesteld dat bij de sterkste passages van het geluid de versterker en de opneemkop nog juist niet worden overbelast. Dit niveau wordt aangegeven door de indicator van blok 3.

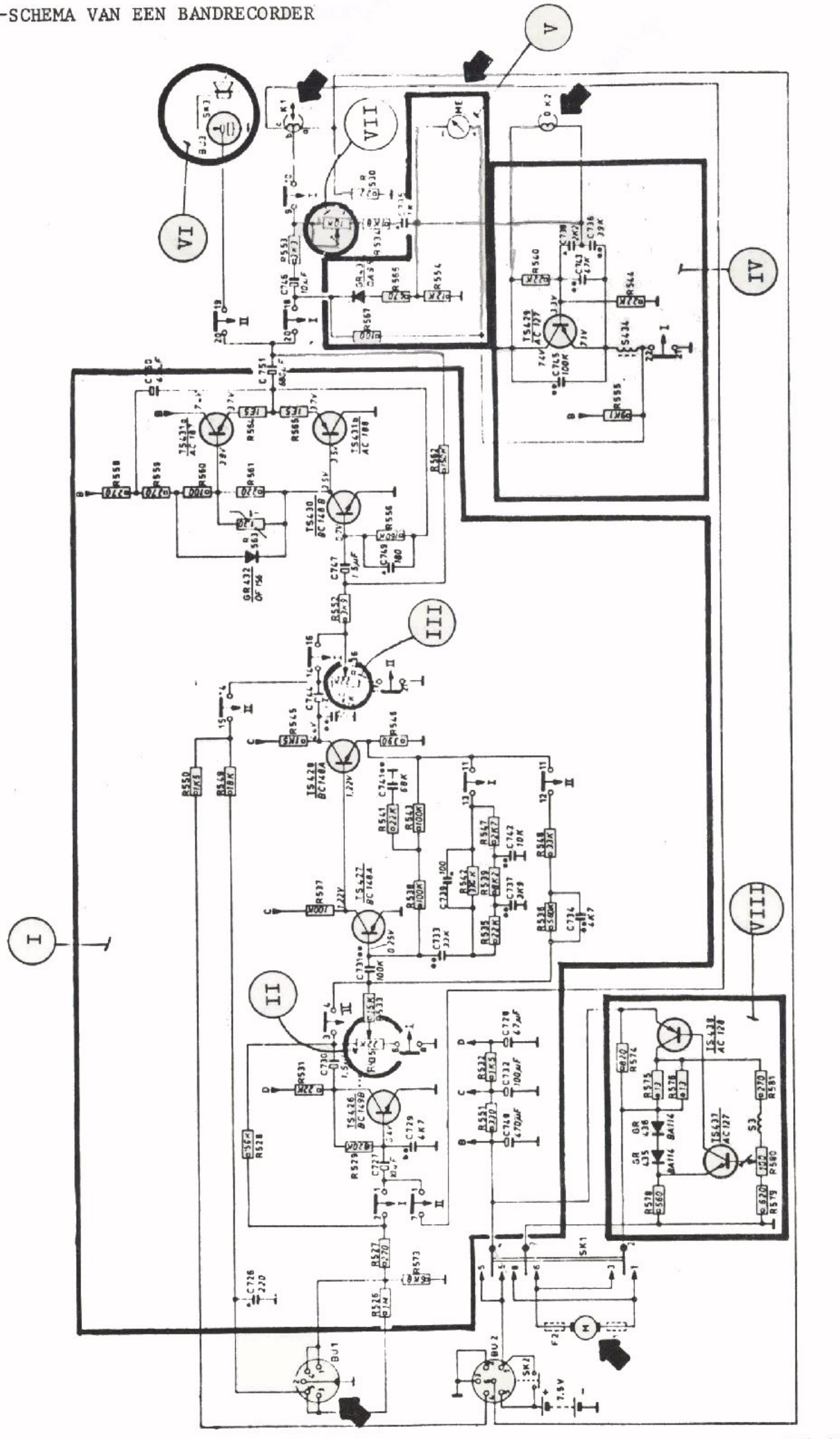
- De magneetband passeert vóór het opnemen de wiskop (Wi). De wis-stroom wordt geleverd door een sinusoscillator (blok 1).
  In het blokschema zien we dat het signaal van de oscillator óók naar de opneemkop wordt gevoerd. M.b.v. dit signaal wordt de opneemkop *voorgemagnetiseerd*. De voormagnetisatie-stroom moet veel kleiner zijn dan de wis-stroom. Daarom is de verzwakker van blok 2 nodig.

Bij het *weergeven* staat S in stand 2.

- Het signaal van de weergeefkop wordt via een versterker (blok 8) toegevoerd aan een luidspreker (blok 9). Hierin wordt het elektrisch signaal weer omgezet in evenredig geluid.

- M.b.v. de volumeregelaar van blok 7 kan men de geluidssterkte instellen.

PRINCIPE-SCHEMA VAN EEN BANDRECORDER



OEFENINGEN

De navolgende vragen hebben betrekking op het principe-schema volgens blad 27.

In dit principe-schema is:

K_1 = de opneem-weergeefkop

K_2 = de wis-kop

ME = de niveau-indicator

B_{ul} = de microfoon-ingang

M = de elektromotor voor het transporteren van de magneetband.

Bij het *opnemen* staan alle schakelaars 1 "in" en alle schakelaars 2 "uit".
Bij het *weergeven* staan alle schakelaars 2 "in" en alle schakelaars 1 "uit".

1. Volg bij het *opnemen* het signaal vanaf de microfooningang tot aan de opneemkop.

   Het signaal passeert achtereenvolgens de blokken: [ ]

2. Volg bij het *weergeven* het signaal vanaf de weergeefkop tot aan de luidspreker.

   Het signaal passeert achtereenvolgens de blokken: [ ]

3. Blok 2 wordt kortgesloten bij het **opnemen/weergeven**

   Blok 3 wordt kortgesloten bij het **opnemen/weergeven**

   Welk blok wordt zowel bij het opnemen als bij het weergeven gebruikt?

   [ ]

4. Noem de functies van de diverse blokken.
Geef tevens aan of ze bij het opnemen, bij het weergeven of in beide gevallen worden gebruikt.

Blok	Functie	Opnemen / Weergeven
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

5. Blok 1

Tussen de emitter van de TS428 en de basis van de TS427 zit een tegenkoppelcircuit.
Bij het *opnemen* van geluid ziet de (vereenvoudigde) schakeling eruit zoals in fig. a is weergegeven.
Bij het *weergeven* is de schakeling zoals fig. b aangeeft.

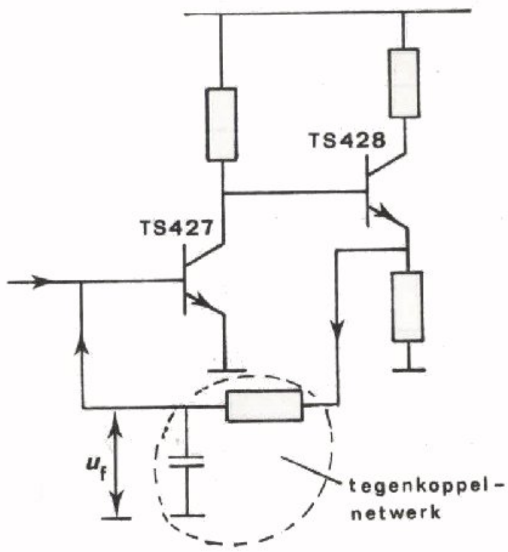


fig. a

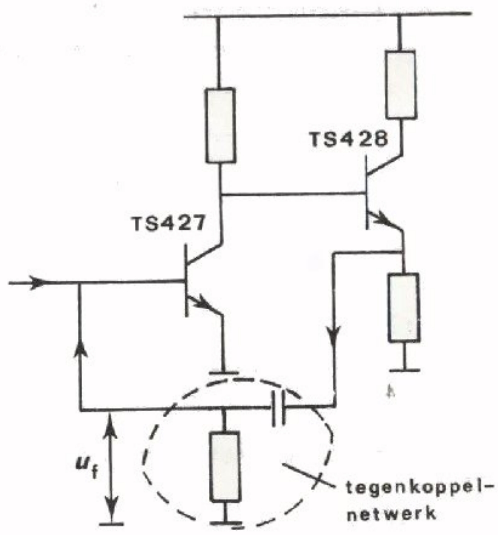


fig. b

- Het tegenkoppelcircuit volgens fig. a is een

  | hoogdoorlatend/laagdoorlatend | filter.

  - De tegengekoppelde spanning u_f is groter bij | hoge/lage | frequenties.

  - Signalen met lage frequenties worden bij het opnemen dus

    | meer/minder | versterkt dan signalen met hoge frequenties.

- Het tegenkoppelcircuit volgens fig. b is een

  | hoogdoorlatend/laagdoorlatend | circuit.

  - De tegengekoppelde spanning u_f is groter bij | hoge/lage | frequenties.

  - Signalen met lage frequenties worden bij het weergeven dus

    | meer/minder | versterkt dan signalen met hoge frequenties.

- Waarom werkt men bij het opnemen en weergeven niet met dezelfde amplitude-frequenties-karakteristiek?

6. Blok 4
   - De wis-oscillator is een | RC / LC | type.

   - De spoel van de oscillatorkring wordt gevormd door de spoel van de

SAMENVATTING

- In deze les zijn de volgende analoge systemen behandeld:
  - Een radio-zender.
  - Een radio-ontvanger.
  - Een audio-bandrecorder.

  Bij al deze systemen gaat het om het verwerken van geluid.

- Geluid kan worden omgezet in elektrische spanningen d.m.v. een microfoon. Elektrische spanningen kunnen worden omgezet in geluid d.m.v. een luidspreker.

  Geluid kan worden getransporteerd d.m.v.:
  - De ruimte.
  - Draadverbindingen.

  Vóór transport: omzetting geluid → elektrische spanning.
  Na transport: omzetting elektrische spanning → geluid.
  - De ether.

    Vóór transport: omzetting geluid → gemoduleerde elektrische spanning.
    Na transport: omzetting gemoduleerde elektrische spanning → geluid.

- In een radio-zender vindt achtereenvolgens plaats:
  Omzetting geluid → LF-spanning,
  Modulatie (AM of FM),
  Omzetting gemoduleerde HF-spanning → elektro-magnetische golven.

- In een ontvanger gebeurt het omgekeerde.
  Omzetting elektro-magnetische golven → gemoduleerde HF-spanning,
  Demodulatie of detectie (AM of FM),
  Omzetting LF-spanning → geluid.

- M.b.v. een ontvangantenne (bijv. ferriet-antenne) worden elektro-magnetische golven omgezet in elektrische spanningen.
  Het selecteren van het gewenste zendersignaal uit de vele andere zendersignalen gebeurt met resonantiekringen.
  Voor het selectief versterken van het gewenste zender-signaal maakt men in radio-ontvangers gebruik van het super-heterodyne principe.

- Bij een bandrecorder gebeurt het volgende:

Opnemen: Omzetting geluid → elektrische spanning,
Versterken,
Omzetting elektrische spanning → magnetisme.

Weergeven: Omzetting magnetisme → elektrische spanning,
Versterken,
Omzetting elektrische spanning → geluid.

- Het opnemen en het weergeven gebeurt met één en dezelfde magneetkop. Voor het wissen van de magneetband is er een aparte wiskop. De luchtspleet van een wiskop is aanzienlijk groter dan die van een opneemweergeefkop.
Voormagnetisatie is nodig om het registreren van zwakke signalen mogelijk te maken en vervorming van sterkere signalen te vermijden.

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

De volgende oefeningen zijn op zich zelf staande vragen (dus geen kettingvragen). Ze hebben betrekking op het blokschema dat op blad 34 is afgebeeld. Voor de blokken 6 en 8 wordt dezelfde versterker gebruikt.

1. Na het opnemen blijkt dat het opgenomen geluid is vermengd met geluidsinformatie die eerder op de band was aangebracht.

   Welk blok kan defect zijn?

   Welk onderdeel kan defect zijn?

2. De bandrecorder neemt niet op terwijl de indicator (blok 3) voldoende uitslag geeft?

   Welk onderdeel is defect?

3. Na het opnemen blijkt dat de zwakke passages van het opgenomen geluid nauwelijks hoorbaar zijn en de sterkere passages zijn vervormd.

   Welk blok is waarschijnlijk defect?

4. Geluid van radio en pick-up worden wél opgenomen; geluid via de microfoon niet.

   Welk blok is defect?

5. Het apparaat neemt niet op en geeft ook niet weer.

   Welk blok is waarschijnlijk defect?

   Welk onderdeel kan defect zijn?

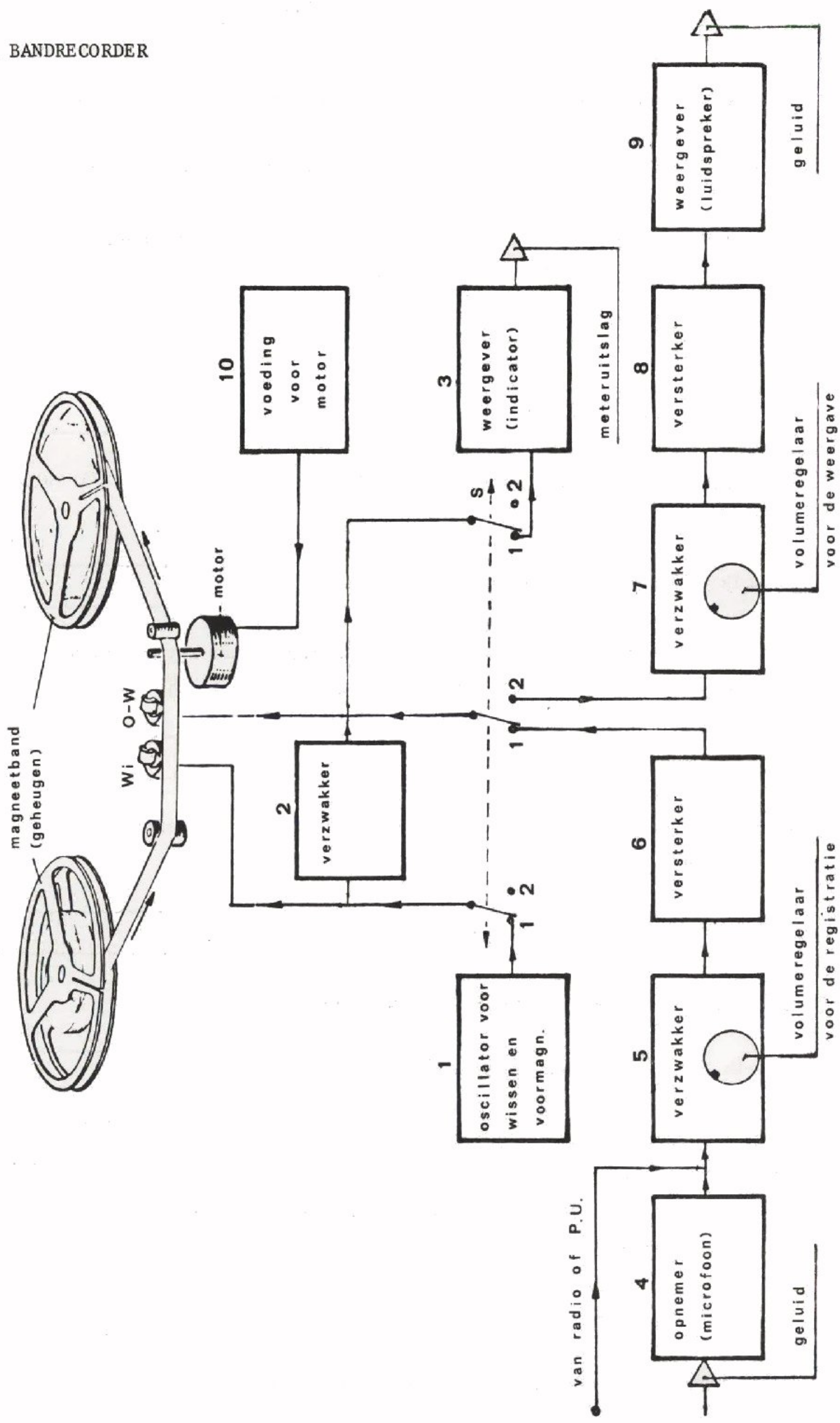
6. Het apparaat neemt wel op maar geeft niet weer. De volumeregelaars staan op maximum.

   Welk blok is defect?

7. De magneetband loopt te langzaam of te snel.

   Welk blok is defect of moet worden bijgeregeld?

BLOKSCHEMA BANDRECORDER



C 35

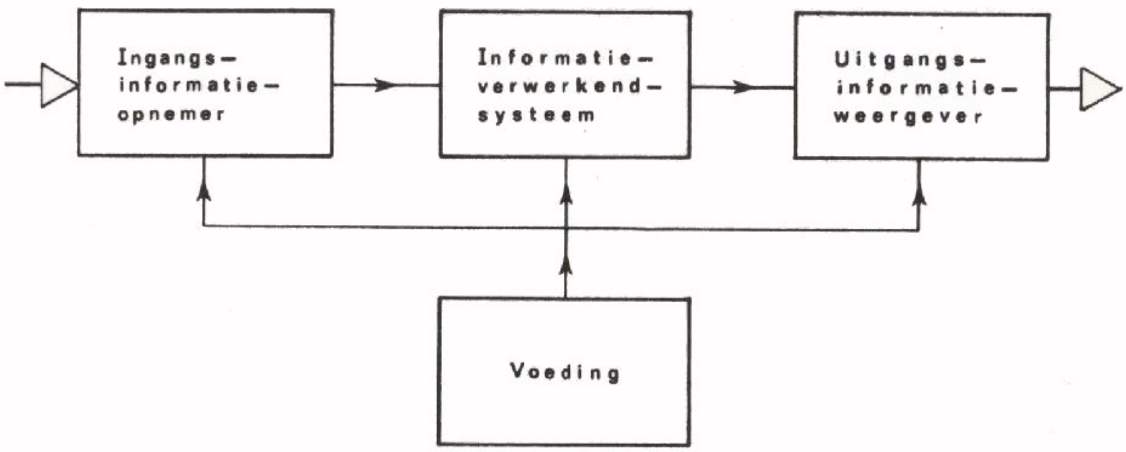
HERHALING I

DE THEORIE VAN C 27 T/M C 34

INLEIDING

In een analoog systeem kunnen we over het algemeen 4 hoofdbestanddelen onderscheiden.

1. De ingangsinformatie-opnemer.
2. Het informatieverwerkend-systeem.
3. De uitgangsinformatie-weergever.
4. De voeding voor het geheel.



In deze cursus hebben we groepen van schakelingen behandeld die in een analoog systeem bepaalde functies verrichten.

De groepen van schakelingen zijn:	De bijbehorende functies zijn:
1. Versterkerschakelingen.	1. Versterken.
2. Verzwakkerschakelingen.	2. Verzwakken.
3. Oscillatorschakelingen.	3. Oscilleren.
4. Voedingsschakelingen.	4. Voeden.
5. Omvormschakelingen.	5. Omvormen.
6. Opneemschakelingen.	6. Opnemen.
7. Weergeefschakelingen.	7. Weergeven.
8. Transportschakelingen.	8. Transporteren.
9. Geheugenschakelingen.	9. Bewaren of opslaan.
10. Mengschakelingen.	10. Mengen.

De schakelingen 6 t/m 10 zijn in de lessen C27 t/m C32 aan de orde geweest. In C33 en C34 hebben we een aantal complete analoge systemen behandeld. Over deze onderwerpen zal in de volgende les een test worden afgenomen.

Ter voorbereiding van die test gaan we in deze les de leerstof van C27 t/m C34 nog eens herhalen.
De les bevat een groot aantal oefeningen. Aan de hand hiervan kunt u zelf ontdekken of uw kennis over de behandelde onderwerpen voldoende is. Hebt u moeilijkheden met het oplossen van bepaalde vraagstukken, sla er dan de desbetreffende lessen nog eens op na. Komt u er dan nog niet uit, leg de problemen dan voor aan uw docent.
Werk deze les serieus door; in de volgende les moet u *zelfstandig* de vraagstukken kunnen oplossen.

OPNEEMSCHAKELINGEN (zie C27)

- Opneemschakelingen zijn schakelingen waarin niet-elektrische informatie wordt omgezet in evenredige elektrische spanningen.

- De belangrijkste eigenschappen van opneemschakelingen zijn:
  - De gevoeligheid.
  - De snelheid.
  - Storende bijverschijnselen.
  - De uitgangsweerstand.

- Opnemers van geluid.
  Als geluidopnemer hebben we een drietal microfoons besproken.
  - De *kristalmicrofoon* die op het piëzo-elektrische principe berust is erg gevoelig en heeft een frequentiegebied van 30-8000 Hz. Men mag er evenwel geen al te hoge eisen aan stellen. De R_u bedraagt ca. 1 MΩ.
  - De *elektrodynamische microfoon* waarin een spoeltje op en neer wordt bewogen in een magnetisch veld, is snelheidsgevoelig. Hoge tonen geven een grotere uitgangsspanning dan lage.
    Het frequentiegebied loopt tot ca. 10.000 Hz.
  - De *condensatormicrofoon* is in feite een condensator waarvan de capaciteit veranderd wordt. Het is een precisie-instrument dat voornamelijk in laboratoria gebruikt wordt. Er is altijd een hoge hulpspanning nodig. De R_u is 80 - 100 MΩ.

- Opnemers van licht.
  - Van het principe van foto-geleiding wordt gebruik gemaakt bij de LDR en de *fotodiode*. Het geleidingsvermogen neemt toe onder invloed van licht.
    Bij foto-dioden is dit effect alleen merkbaar in sperrichting. Ze zijn minder gevoelig dan een LDR maar reageren veel sneller.
  - In de *fotocel* wordt gebruik gemaakt van de foto-emissie. Elektronen treden uit de kathode als er licht op valt.

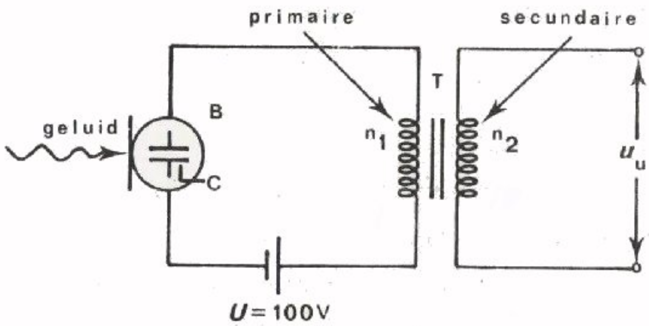
- Opnemers van temperatuur.
  - *NTC-weerstanden* of *thermistors* worden gebruikt voor niet al te nauwkeurige temperatuurmetingen tot 150 à 200° C.
    Te grote stromen door de *NTC* veroorzaken "valse warmte".
  - Met een *thermokoppel* kunnen hoge temperaturen gemeten worden met grote nauwkeurigheid, vooral als men twee gelijke thermokoppels gebruikt waarvan één op een constante temperatuur wordt gehouden, bijv. 0° C.

- Opnemers van mechanische trillingen.
  - De *kristal-pick-up* is gevoelig maar niet geschikt voor Hi-Fi-weergave.
  - De *elektrodynamische pick-up* is minder gevoelig (vóórversterking is noodzakelijk) maar heeft een veel betere frequentiekarakteristiek. De snelheidsgevoeligheid kan met een *RC*-filter gecorrigeerd worden.
  - De *elektro-magnetische pick-up* die eveneens minder gevoelig en snelheidsafhankelijk is, wordt toegepast als zeer hoge eisen worden gesteld.
  - Andere *trillingsopnemers* berusten meestal op een van deze principes.

- Opnemers van mechanische krachten.
  - Het *rekstrookje* zet allerlei vormen van kracht om in een weerstandsverandering en maakt het meten en registreren van trek, druk, buiging, torsie, etc. mogelijk.

TEST UZELF

1. Onderstaande schakeling bevat een condensatormicrofoon *C*, een voedingsspanning *U* en een transformator *T*.
De voedingsspanning is 100 V.
De capaciteit van de condensatormicrofoon is in rust 200 pF.
T.g.v. een geluid trilt het membraan van de microfoon waardoor de capaciteit periodiek verandert van 190 pF naar 210 pF.



- Hoe groot is de lading op de condensatormicrofoon bij C = 190 pF (Q_1) en bij C = 210 pF (Q_2)?

Q_1 = [nC] Q_2 = [nC]

Gedurende één periode van de geluidsfrequentie vloeit er een zekere lading naar C heen en terug.

- Hoe groot is de heengaande en teruggaande lading?

Q_{heen} = [nC] Q_{terug} = [nC]

We nemen aan dat de frequentie van het geluid 1 kHz is.

- Hoe groot is de gemiddelde waarde van de wisselstroom door de primaire van de transformator gedurende de positieve- of negatieve fase van een periode.

I_{gem} = [µA]

- Hoe groot is de top-waarde van de wisselstroom door de primaire van de transformator?

I_t = [µA]

De primaire van T heeft een zelfinductie van 100 mH.

- Hoe groot is de top-waarde van de wisselspanning over de primaire van T?

U_t = [mV]

De transformatie-verhouding van T is $\frac{n_2}{n_1}$ = 10.

- Hoe groot is de top-waarde van de uitgangsspanning van de schakeling?

U_{ut} = [mV]

WEERGEEFSCHAKELINGEN (zie C28)

- In deze les hebben we de werking van een aantal analoge weergevers en de bijbehorende schakelingen besproken.
  Weergeefschakelingen zijn schakelingen waarin elektrische informatie wordt omgezet in evenredige niet-elektrische informatie.

- De belangrijkste eigenschappen van weergeefschakelingen zijn:
  - De gevoeligheid.
  - De snelheid.
  - Storende bijverschijnselen.
  - De ingangsweerstand.

- Weergevers van geluid.
  Als geluidsweergever hebben we een drietal luidsprekers en de telefoon besproken.
  - De *elektro-dynamische* luidspreker is de meest gebruikte.
    Het frequentiegebied van dit type luidspreker kan lopen van 60 Hz - 20.000 Hz maar hangt af van zijn afmetingen, de klankkast en een juiste aanpassing aan de versterkeruitgang. De impedantie verschilt van type tot type en ligt tussen 3 en 800 Ω.
  - De *elektro-statische* en de piëzo-elektrische luidspreker worden alleen als hoge-tonen weergever toegepast.
  - De meest gebruikte *telefoons* werken volgens het elektro-magnetische of volgens het elektro-dynamische principe.

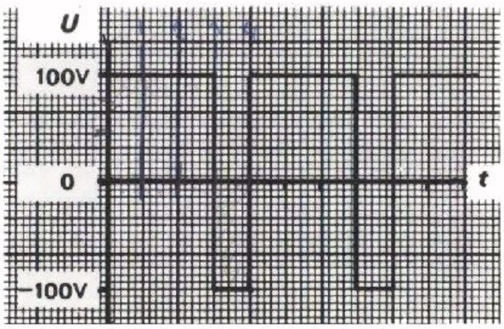
- Verplaatsingsweergevers.
  We hebben drie typen meetinstrumenten behandeld.
  - De *draaispoelmeter* is in de elektronica het meest gebruikte analoge meetinstrument. Het reageert op de *gemiddelde* waarde van de toegevoerde stroom. Bij het meten van wisselstromen wordt een gelijkrichter vooraf geschakeld.
    Het opgenomen vermogen is gering: bijv. 10 μW.
  - De *elektro-magnetische* meter is veel ongevoeliger dan de draaispoelmeter en wordt daarom voornamelijk in de sterkstroomtechniek toegepast. De meter reageert op de *effectieve* waarde van de te meten stroom.
  - De *elektro-statische* meter is een laboratoriuminstrument. Het opgenomen vermogen is nihil.
    De meter reageert op de *effectieve* waarde van de aangelegde spanning.

- Thermische weergevers.
  Als voorbeeld hebben we een thermokoppel mét thermo-element behandeld. M.b.v. een thermokoppel-meter kan men de *effectieve* waarde van HF-stromen of van niet-sinusvormige stromen meten. Het opgenomen vermogen van dit type meetinstrumenten is 10 à 100 mW.

- Weergevers van licht.
  - De *gloeilamp* neemt relatief veel energie op, het rendement is laag en de levensduur gering.
  - De *gasgevulde* lampjes hebben een lange levensduur. De benodigde spanning is hoog (vanaf 60 V).
  - De LED werkt bij lage spanningen (1,5 à 2,5 V); de opgenomen stroom is 10 à 20 mA.

TEST UZELF

1. De spanning waarvan hiernaast het verloop is afgebeeld, wordt achtereenvolgens toegevoerd aan een draaispoelmeter en aan een elektro-statische meter.



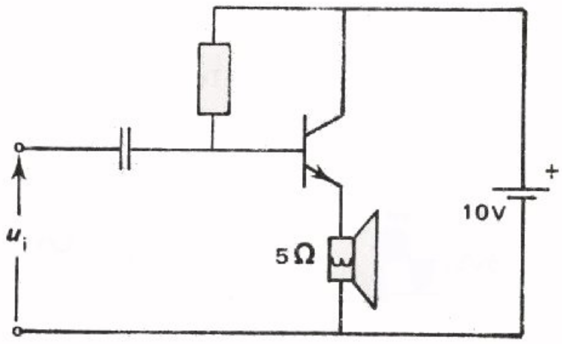
   - Hoe groot is de uitslag van de draaispoelmeter?

     Uitslag 1: [V]

   - Wat wijst de elektro-statische meter aan?

     Uitslag 2: [V]

2. Een luidspreker van 5 Ω is opgenomen in de emitter-leiding van een transistor (zie fig.).
De voedingsspanning van de schakeling is 10 V. De ingangsspanning u_i is sinusvormig. De instelling van de transistor en de grootte van u_i zijn zodanig, dat over de luidspreker de maximale wisselspanning ontstaat.



- Hoe groot is bij benadering de maximale onvervormde wisselspanning over de luidspreker?

$U_{1t(max)} \approx$ [V]

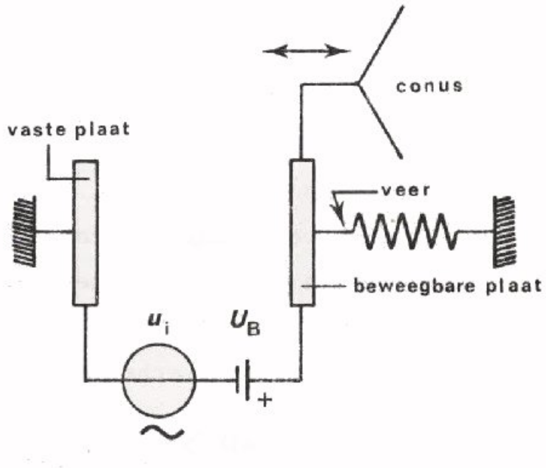
- Hoe groot is ongeveer het maximale vermogen in de luidspreker?

$P_{1(max)} \approx$ [W]

3. Hiernaast is het principe van een elektro-statische luidspreker afgebeeld.

$U_{it} < U_b$

Tengevolge van de wisselspanning u_i beweegt de conus van de luidspreker heen en weer, in het ritme van de frequentie van u_i.



Wat gebeurt er met de bewegings-frequentie van de conus als $U_{it} > U_b$?

TRANSPORT-SCHAKELINGEN (zie C29)

- In deze les hebben we 4 soorten transportschakelingen besproken:
  - Transport d.m.v. elektrische informatie via kabels.
  - Transport d.m.v. ultrasone golven via het medium lucht.
  - Transport d.m.v. elektro-magnetische golven via de ruimte.
  - Transport d.m.v. licht-golven via glasvezels.

- Bij transport van elektrische informatie is van belang:
  - De transport-tijd.
  - Het energie-verlies in de transportschakeling.
  - De vervorming van de informatie tijdens het transport.
  - De aan de informatie toegevoegde stoorsignalen.

- Informatie-transport via kabels vindt vooral toepassing bij middenlange en korte afstanden.
  - Twee soorten kabels worden veelvuldig gebruikt: parallelkabel en coaxiaalkabel.
  - Bij gebruik van een kabel dient men deze zowel aan het begin als aan het einde af te sluiten met weerstanden waarvan de waarde overeenkomt met die van de karakteristieke weerstand R_o van de kabel.
  - Als in een praktische situatie de gewenste aanpassingen niet direct realiseerbaar zijn, dan dient men op de juiste plaatsen aanpassingsschakelingen toe te passen.
  - Praktische waarden voor R_o zijn: 50 Ω, 60 Ω, 75 Ω, 135 Ω, 300 Ω en 600 Ω. De voortplantingssnelheid in de kabels is ongeveer 250.000 km/s. De demping van praktische kabels is nogal afhankelijk van de frequentie van het te transporteren signaal; oriënterende waarden: -0,1 dB/m bij 100 MHz, -0,3 dB/m bij 800 MHz.

- Voor het transporteren van elektrische informatie over grote afstanden of in moeilijk toegangkelijke gebieden wordt vaak gebruik gemaakt van elektro-magnetische golven.
  - Aan de zendzijde wordt een zendantenne gebruikt om elektrische spanningen om te zetten in elektro-magnetische golven.
    Belangrijke eigenschappen van zendantennen zijn: het stralingsdiagram en de stralingsweerstand.

- - Aan de ontvangzijde wordt een ontvangantenne gebruikt om elektro-magnetische golven om te zetten in elektrische spanningen.
  Belangrijke eigenschappen van ontvangantennen zijn: het richtingsdiagram en de effectieve antennehoogte.
  - Veel voorkomende antennen: de open- en de gevouwen- $\frac{1}{2}\lambda$-dipool, de Yagi-antenne, de verticale antenne, de raamantenne en de ferroceptor.
  - De voortplantingssnelheid van elektro-magnetische golven is 300.000 km/s.

- Ultrasone golven met lucht als transportmedium worden alleen voor korte afstanden gebruikt.
  - Aan de zendzijde wordt een speciale luidspreker gebruikt om elektrische spanningen om te zetten in luchttrillingen.
  - Aan de ontvangzijde wordt een speciale microfoon gebruikt om luchttrillingen om te zetten in elektrische spanningen.
  - De voortplantingssnelheid van ultrasone golven in lucht is ca. 340 m/s.
    Het energie-verlies is betrekkelijk groot: -1 dB bij 100 kHz.

- Glasvezels als transportmedium zullen in de naaste toekomst worden toegepast op plaatsen waar nu nog kabels worden gebruikt.
  - Bij glasvezeltransport wordt aan de zendzijde een speciale lichtgevende diode gebruikt om elektrische informatie om te zetten in licht.
  - Aan de ontvangzijde gebruikt men speciale lichtgevoelige dioden om licht om te zetten in elektrische spanningen.
  - De voortplantingssnelheid van licht-golven in glas is ca. 200.000 km/s.
    Het energie-verlies is gering: $< 0{,}01$ dB/m.

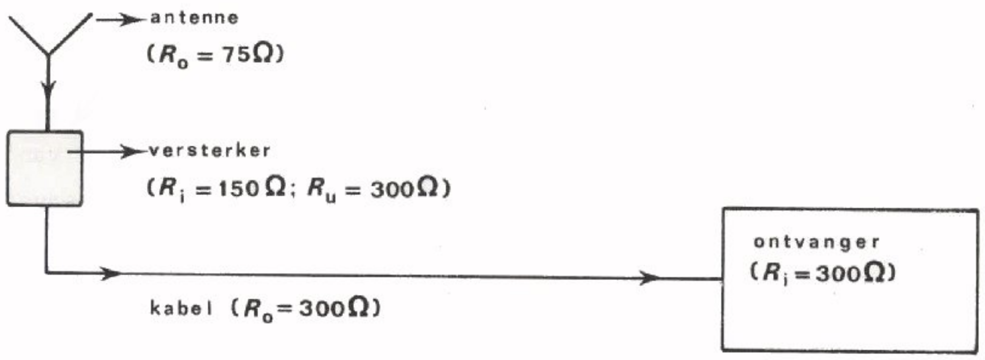
TEST UZELF

1. Hieronder zijn twee antennen afgebeeld: een dipoolantenne A en een Yagi-antenne B.



- Schets hierboven het richtingsdiagram van beide antennen.
- Welke antenne moet men het nauwkeurigst richten? **A / B**
- Met welke antenne kan men het grootste signaal ontvangen? **A / B**

2. Een TV-ontvangantenne wordt via een antenne-versterker en een kabel verbonden met de ingang van een TV-ontvanger.



- Op welke plaats in dit systeem dient men een aanpassingsschakeling toe te passen? (Geef dit aan m.b.v. een pijl).
- Hoe groot moet de R_i en de R_u van de aanpassingsschakeling zijn, opdat het geheel reflectievrij werkt?

R_i = [Ω] R_u = [Ω]

3. Door een zendantenne met een stralingsweerstand van 300 Ω vloeit een effectieve wisselstroom van 10 A.
Hoe groot is het uitgestraalde vermogen?

P = [kW]

DE GEHEUGENFUNCTIE (zie C30)

- We hebben onderscheid gemaakt tussen twee soorten geheugens:
  - Geheugens waarbij de informatie voor *onbepaalde tijd* kan worden opgeslagen.
  - Geheugens die de informatie *vertragen* en daardoor een *beperkte tijd* vasthouden.

- Als elektrische informatie voor langere tijd moet worden opgeslagen wordt deze in *niet-elektrische* vorm bewaard, bijv. op plaat of band. Het omzetten van de elektrische informatie in een niet-elektrische is daarbij noodzakelijk.
  Het omgekeerde moet gebeuren als men weer over de elektrische informatie wil beschikken.

- De belangrijkste eigenschappen van een geheugen zijn:
  - De *capaciteit*: de hoeveelheid informatie die men kan opslaan.
  - De *getrouwheid*: de mate van overeenkomst tussen de nã opslag weergegeven informatie en de oorspronkelijke informatie.
  - De *toegankelijkheid*: de snelheid waarmee opgeslagen informatie uit het geheugen kan worden gehaald.

- De capaciteit van magneetband (of filmrol) per eenheid van volume is groter dan die van een grammofoonplaat maar kleiner dan van een V.L.P.
  Bij de opname van geluid op band of plaat worden de passages met hoge frequenties met grotere amplitude geregistreerd dan die van het orginele geluid. Bij passages met lage frequenties wordt de sterkte verminderd. Dit noemt men dynamiek-compressie. Bij de weergave van het geluid wordt deze afwijking van de getrouwheid gecorrigeerd. Dit noemt men dynamiek-expansie.

- De belangrijkste eigenschappen van vertragingsschakelingen zijn:
  - De *vertragingstijd*: het tijdsverschil tussen in- en uitgangssignaal.
  - De *getrouwheid*: de mate van overeenkomst van het uitgangssignaal met het ingangssignaal.
  - Het *rendement*. de verhouding van het uitgangsvermogen en het ingangsvermogen.

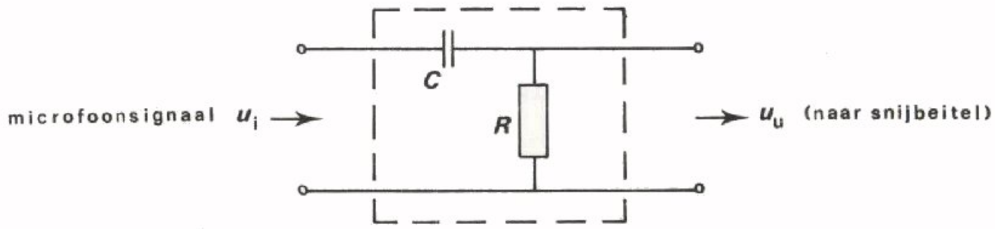
- Kortstondige tijdsvertragingen (tot ca. 1 μs) kunnen met zuiver elektronische schakelingen worden verkregen, bijvoorbeeld met een *LC*-vertragingslijn of met een vertragingskabel.

- Voor vertragingen groter dan enige μs gebruikte men tot nog toe in hoofdzaak elektro-mechanische vertragingssystemen.
  De getrouwheid en het rendement zijn echter minder gunstig dan van elektronische vertragingen. Bovendien zijn deze systemen nogal kwetsbaar en duur.

- Het "emmertjes"-geheugen is een zuiver elektronische vertragingsschakeling waarmee vertragingstijden tot enige tientallen ms kunnen worden bereikt.
  De vertragingstijd is binnen bepaalde grenzen continu instelbaar.
  Het "emmertjes"-geheugen is in IC-vorm te fabriceren.

TEST UZELF

1. Bij de opname van een grammofoonplaat wordt voor de dynamiek-compressie het volgende filter toegepast.



- De sterke passages in de muziek, die hoofdzakelijk voorkomen bij de

lage/hoge frequenties, worden door het filter

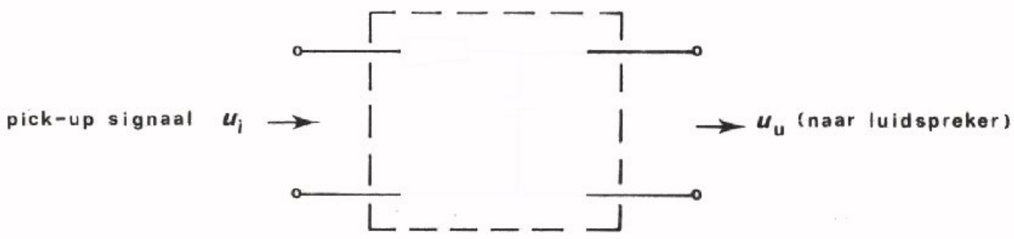
veel/weinig verzwakt.

- De zwakke passages in de muziek, die hoofdzakelijk voorkomen bij de

| lage / hoge | frequenties, worden door het filter

| veel/weinig | verzwakt.

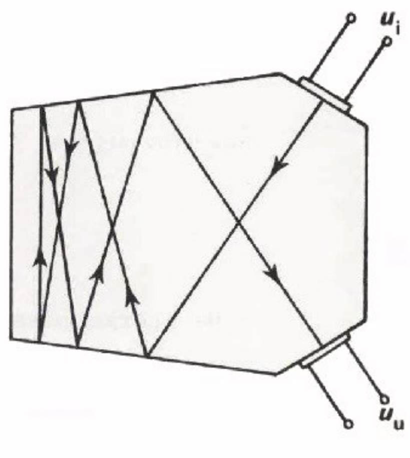
- Teken hieronder het *RC*-filter dat bij de weergave van de muziek voor de dynamiek-expansie kan zorgen.



2. In de Y-versterker van een oscilloscoop wordt vaak een vertraging toegepast. Dit doet men om:

- De helderheid te vergroten. O
- De tijdbasis te laten starten nadat het Y-signaal de beeldbuis heeft bereikt. O
- De tijdbasis te laten starten voordat het Y-signaal de beeldbuis heeft bereikt. O
- De tijdas uit te rekken (X.MAGN.). O

3. Een elektro-mechanisch vertragingssysteem is hier op ware grootte getekend. De voortplanting van het signaal is met pijlen aangegeven. De voortplantingssnelheid in het medium is 1 km/s.



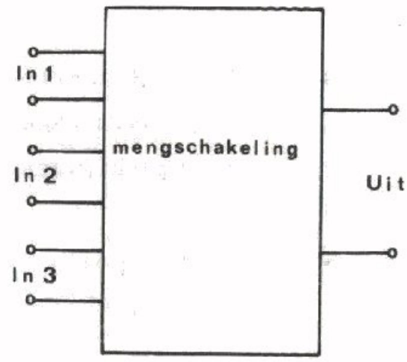
- De vertragingstijd van dit systeem is:

$t_d \approx$ [µs]

OPTELSCHAKELINGEN EN AFTREKSCHAKELINGEN (zie C31).

- Deze les handelt over de funtie *mengen*.

- Mengschakelingen zijn uitgerust met meer dan één ingang waaraan men de te mengen signalen toevoert. Ze hebben één uitgang waarvan men het mengresultaat afneemt.



- Onder mengen verstaan we het verwerken van een aantal signalen tot één mengsignaal waarin de eigenschappen van de oorspronkelijke signalen herkenbaar zijn.

- De belangrijkste eigenschappen van mengschakelingen zijn:
  - De ingangsweerstand van elk van de ingangen.
  - De uitgangsweerstand.
  - De overdracht.

- In de les zijn een aantal optelschakelingen en aftrekschakelingen aan de orde geweest.
  Bij optelschakelingen is de uitgangsspanning evenredig met de som van de ingangsspanningen.
  Bij aftrekschakelingen is de uitgangsspanning evenredig met het verschil van de twee ingangsspanningen.

- Voor het optellen van spanningen kan men gebruik maken van:
  - Spanningsdelers met weerstanden (passieve optelschakelingen).
  - Optelversterkers (actieve optelschakelingen).

  Bij eerstgenoemde worden de ingangssignalen verzwakt. Bij laatstgenoemde kan naast optelling tevens versterking plaatsvinden.
  De operationele versterker is bijzonder geschikt voor het optellen van spanningen.

- Door optelling van twee sinusspanningen met bijna gelijke frequenties ontstaan "zwevingen". Het aantal zwevingen per seconde is gelijk aan het frequentieverschil van beide signalen.

- De som (resp. het verschil) van twee sinusvormige spanningen met gelijke frequenties verloopt ook sinusvormig.
  De som (resp. het verschil) van twee sinusvormige spanningen met ongelijke frequenties verloopt niet-sinusvormig.

- Voor het aftrekken van spanningen kan men gebruik maken van:
  - Een omkeerschakeling mét een optelschakeling.
  - Een verschilversterker.

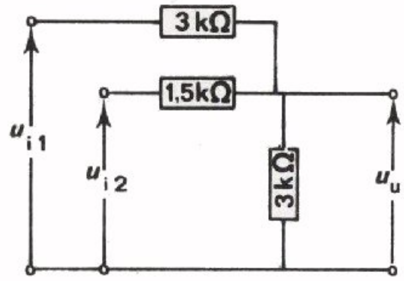
- Voor het bepalen van het verschil tussen twee geaarde spanningen is een als verschilversterker geschakelde op-amp bij uitstek geschikt.

- Bij spanningsmetingen tussen twee punten die vrij van aarde liggen ontstaan gemakkelijk meetfouten t.g.v. stoorsignalen.

TEST UZELF

1. Deze mengschakeling is een

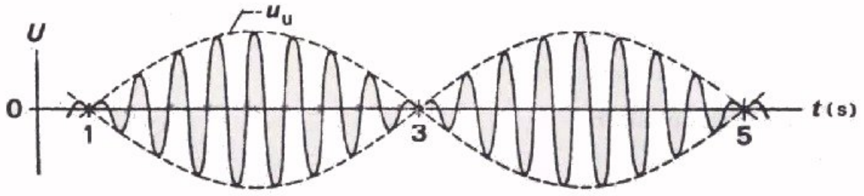
optel/aftel schakeling



- Bereken de uitgangsspanning u_u.

u_u = ...u_{i1} + ...u_{i2}

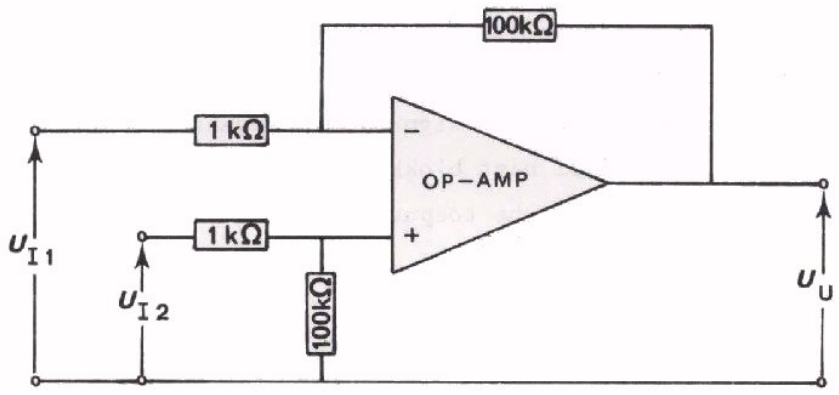
2. Aan de ingangen van een optelschakeling worden twee sinusvormige spanningen toegevoerd waarvan de frequenties bijna gelijk zijn.
De uitgangsspanning heeft een verloop zoals hieronder is afgebeeld.



- Het tijdsverschil tussen de minima van u_u is [s]

- Het frequentie-verschil tussen de ingangsspanningen is [Hz]

3. Aan de ingangen van de hieronder weergegeven verschilversterker worden twee bijna evengrote gelijkspanningen aangelegd. De resulterende uitgangsspanning is 100 mV. (Punt A is negatief t.o.v. B).
Daarna wordt de spanning op de min-ingang losgenomen; de uitgangsspanning is nu 10 V.



- Hoeveel is het verschil tussen U_{I1} en U_{I2}?

$U_{I1} - U_{I2} =$ [mV]

- Hoe groot is U_{I1}?

$U_{I1} =$ [mV]

ENIGE BIJZONDERE MENGSCHAKELINGEN (zie C32)

- In deze les zijn de volgende menschakelingen aan de orde geweest.
  - Een frequentie-transformatie-schakeling.
  - Poortschakelingen.
  - Een AM-modulator.
  - Een FM-modulator.

- Een frequentietransformatie-schakeling gebruikt men als de frequentie van een signaal naar een willekeurig hogere of lagere waarde moet worden gebracht.
  Men maakt dan gebruik van een 2e signaal dat met het oorspronkelijke signaal wordt gemengd. Het resultaat is, dat er een uitgangsspanning ontstaat waarvan de frequentie gelijk is aan de *som* of het *verschil* van de frequenties van de ingangssignalen.

  Ingangssignalen: u_{i1} met de frequentie f_1
  u_{i2} met de frequentie f_2
  Uitgangssignalen: u_u met de frequentie $(f_1 + f_2)$ óf $(f_1 - f_2)$
  óf $(f_2 - f_1)$.

- Met behulp van een poortschakeling wordt een gegeven signaal naar wens wél of niet doorgelaten.
  Dit gebeurt m.b.v. een 2e signaal (de zogenaamde schakelspanning) die de mengschakeling al of niet blokkeert.
  We hebben als praktische toepassing een fasemeter behandeld.

  Ingangssignalen: u_{i1}
  u_{i2} (de schakelspanning)
  Uitgangsignaal: u_u, bestaande uit delen van u_{i1}.
  (welke delen, wordt bepaald door u_{i2}).

- Een modulatieschakeling moduleert een LF-signaal op een HF-draaggolf. Dit gebeurt o.a. in een radio- en in een TV-zender.

  Bij een amplitude-modulator wordt het LF-signaal in de *amplitude* van de draaggolf verwerkt.
  Ingangssignalen: u_{hf} (draaggolf)
  u_{lf} (de informatie)
  Uitgangssignaal: u_{am} (d.i. een HF-signaal waarvan de amplitude variëert met de frequentie van u_{lf})

Bij een frequentie-modulator vindt een zodanige menging plaats dat het LF-signaal tot uiting komt in de *frequentie* van de draaggolf.

Ingangssignalen: u_{hf} (draaggolf)

u_{lf} (de informatie)

Uitgangssignaal: u_{fm} (d.i. een HF-signaal waarvan de frequentie varieert in het ritme van u_{lf}).

TEST UZELF

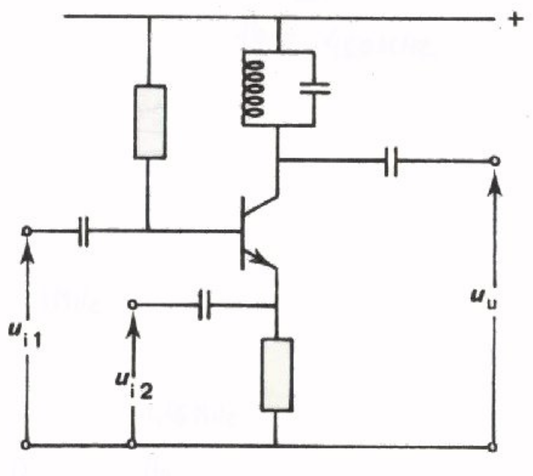
1. Hiernaast is een frequentie-transformatie-schakeling afgebeeld.

   De resonantiekring is afgestemd op 450 kHz.

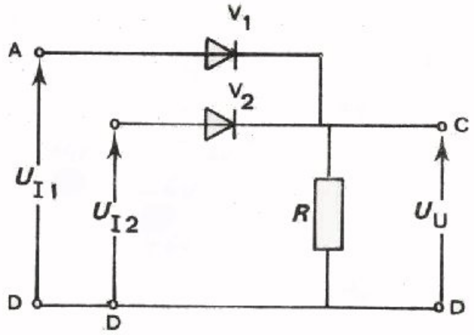
   Aan beide ingangen worden sinusvormige signalen toegevoerd. De frequentie van u_{i1} is 1 MHz; die van u_{i2} is 1450 kHz.

   Hoe hoog is de frequentie van de uitgangsspanning u_u?

   f = [kHz]



2. Hoe groot is de uitgangsspanning van deze poortschakeling bij de volgende ingangsspanningen? (De dioden stellen we ideaal).



U_{AD} = 4 V; U_{BD} = −6 V; U_{CD} = [   ] V

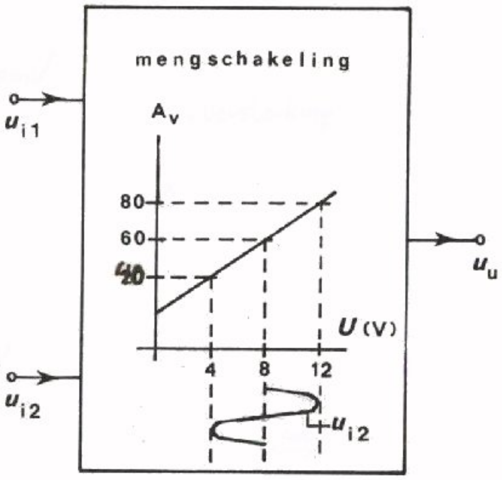
U_{AD} = 4 V; U_{BD} = 6 V; U_{CD} = [   ] V

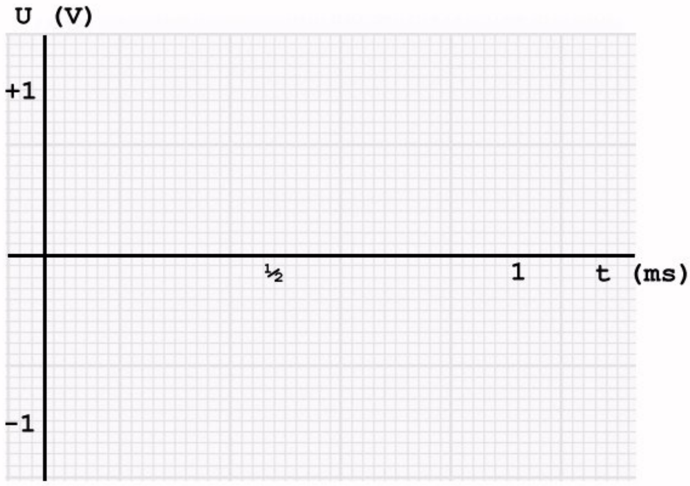
3. Van een mengschakeling is de versterking voor het ene ingangssignaal (u_{i1}) afhankelijk van de amplitude van het andere ingangssignaal u_{i2} (zie figuur).

De amplitude van U_{i1t} is 10 mV; de frequentie 5 kHz.

De amplitude van U_{i2t} is 4 V; de frequentie 1 kHz.

Beide signalen zijn sinusvormig.





- Schets het verloop van de uitgangsspanning u_u.

SYSTEMEN I (zie C33)

- We hebben in deze les ervaren hoe ingewikkelde elektronische systemen met behulp van een functie-blokschema overzichtelijk kunnen worden weergegeven.

- Er zijn een aantal gangbare analoge systemen aan de orde geweest.
  - Een versterkervoltmeter voor wisselspanning.
  - Een versterkervoltmeter voor gelijkspanning.
  - Een versterkervoltmeter voor gelijk- én wisselspanning.
  - Een frequentiemeter.
  - Een fasemeter.
  - Een oscilloscoop.

- In deze blokschema's komen de volgende groepen van schakelingen voor:
  - Versterkers.
  - Verzwakkers.
  - Oscillators.
  - Voedingsschakelingen.
  - Omvormers.
  - Weergevers.
  - Vertragingsschakelingen.
  - Mengschakelingen.

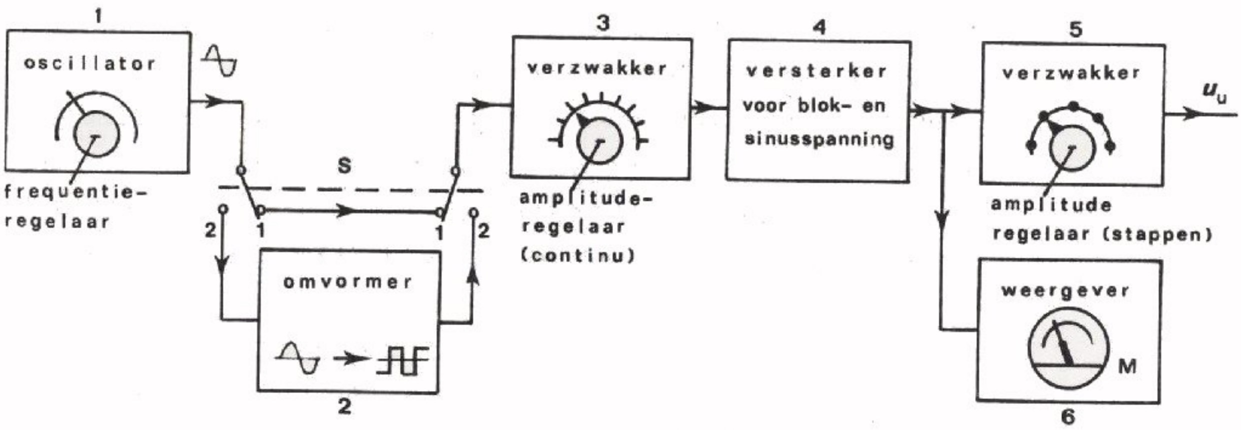
- Het werken met functie-blokschema's sluit bijzonder goed aan bij het dagelijkse werk van de elektronica-monteur.
  - In toenemende mate wordt er in de analoge techniek gebruik gemaakt van IC's. IC's bevatten schakelingen met bepaalde functies. Zo zijn er IC's waarin complete versterkers zijn ondergebracht. De blokken in een blokschema komen dan overeen met de blokken (units) in een elektronisch apparaat.
  - De volgorde waarin de schakelingen van een systeem zijn gemonteerd komt vaak overeen met de volgorde van de blokken in een blokschema.
  - Als een monteur bezig is met het repareren of controleren van een elektronisch systeem heeft hij bewust of onbewust het blokschema van het systeem voor ogen.
    Per blok gaat hij na of ze goed functioneren. Hij volgt het signaal door het blokschema.

- Blijkt een blok zijn functie niet goed uit te voeren dan moet hij dit verhelpen.
  Is het defecte blok een IC dan moet de monteur dit blok in zijn geheel door een ander vervangen; de defecte IC wordt weggegooid.

- Bij de technische gegevens van een elektronisch systeem worden meestal naast het principe-schema ook een blokschema gegeven. Door vergelijking van beide kan men vrij gemakkelijk nagaan wat bepaalde onderdelen van een systeem doen of behoren te doen.

TEST UZELF

Hieronder is het functie-blokschema van een sinus/blok-generator afgebeeld.



Bestudeer dit blokschema aandachtig.

- Als de schakelaar S in stand 1 staat verloopt de uitgangsspanning u_u

sinusvormig / blokvormig

- Als S in stand 2 staat verloopt de uitgangsspanning

sinusvormig / blokvormig

- Als men aan de continu-verzwakker regelt verandert de uitslag van de

  meter M | wel / niet |

- Als men aan de stappenverzwakker regelt verandert de uitslag van de

  meter M | wel / niet |

Veronderstel dat de generator defect is.

- Er is wél een sinusvormige uitgangsspanning, maar geen blokvormige uitgangsspanning.

  Welk blok is defect? | Blok no. |

- Er is wél een meteruitslag maar geen uitgangsspanning.

  Welk blok is defect? | Blok no. |

- De uitgangsspanning is te laag; de bedieningsorganen werken normaal.

  Welk blok is defect? | Blok no. |

Het bepalen van de grootte van de uitgangsspanning.

- De weergever geeft 7 V aan. De stappenverzwakker is ingesteld op -40 dB.

  Hoe groot is de uitgangsspanning? $U_{u(eff)}$ = | mV |

- Waarom wordt de weergever niet direct met de uitgang verbonden? De uitgangsspanning zou dan direct afleesbaar zijn.

SYSTEMEN II (zie C34)

- In deze les zijn de volgende analoge systemen behandeld:
  - Een radio-zender.
  - Een radio-ontvanger.
  - Een audio-bandrecorder.

  Bij al deze systemen gaat het om het verwerken van geluid.

- Geluid kan worden omgezet in elektrische spanningen d.m.v. een microfoon.

  Elektrische spanningen kunnen worden omgezet in geluid d.m.v. een luidspreker.

  Geluid kan worden getransporteerd d.m.v.:
  - De lucht.
  - Draadverbindingen.
    Vóór transport: omzetting geluid ➤ elektrische spanning.
    Ná transport: omzetting elektrische spanning ➤ geluid.
  - De ruimte.
    Vóór transport: omzetting geluid ➤ elektro-magnetische golven.
    Ná transport: omzetting elektro-magnetische golven ➤ geluid.

- In een radio-zender vindt achtereenvolgens plaats:
  Omzetting geluid ➤ LF-spanning
  Modulatie (AM of FM)
  Omzetting gemoduleerde HF-spanning ➤ elektro-magnetische golven.

- In een ontvanger gebeurt het omgekeerde:
  Omzetting elektro-magnetische golven ➤ gemoduleerde HF-spanning.
  Demodulatie of detectie (AM of FM).
  Omzetting LF-spanning ➤ geluid.

- M.b.v. een ontvangantenne (bijv. ferriet-antenne) worden elektro-magnetische golven omgezet in elektrische spanningen.

  Het selecteren van de gewenste zender uit de vele andere zendersignalen gebeurt met resonantiekringen.

  Voor het selectief versterken van het gewenste zender-signaal maakt men in radio-ontvangers gebruik van het super-heterodyne principe.

- Bij een bandrecorder gebeurt het volgende:

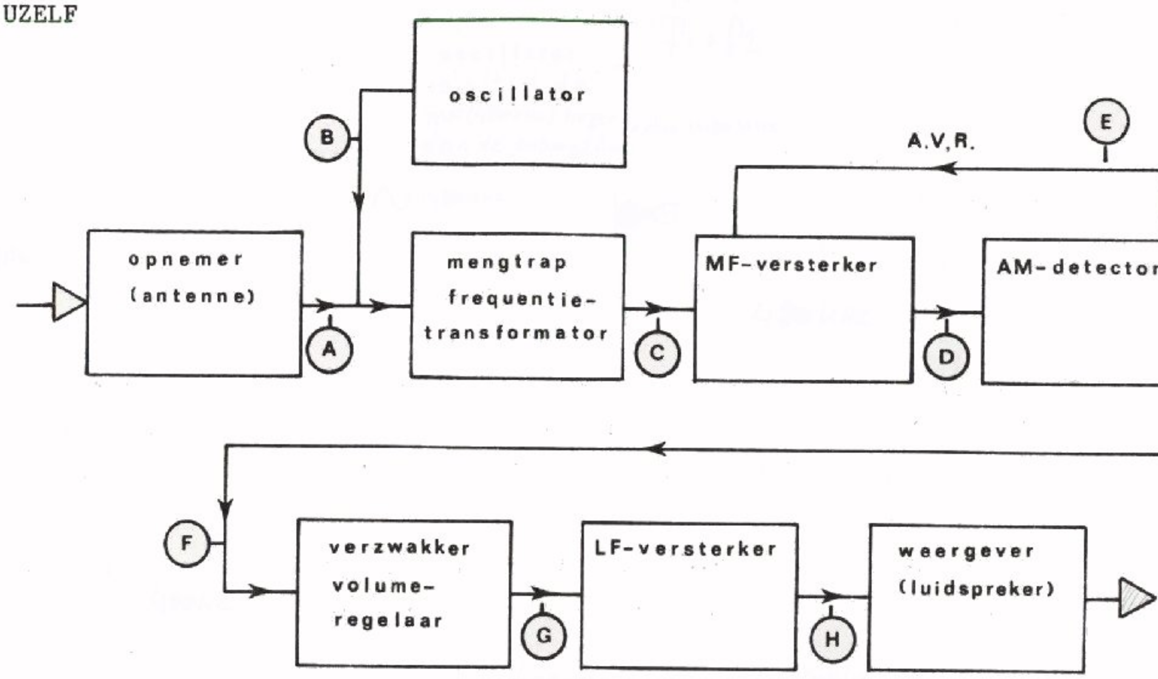
  Opnemen: Omzetting geluid → elektrische spanning.
  Versterken.
  Omzetting elektrische spanning → magnetisme.

  Weergeven: Omzetting magnetisme → elektrische spanning.
  Versterken.
  Omzetting elektrische spanning → geluid.

- Het opnemen en het weergeven gebeurt met een en dezelfde magneetkop. Voor het wissen van de magneetband is er een aparte wiskop. De luchtspleet van een wiskop is aanzienlijk groter dan die van een opneem-weergeefkop.

  Voormagnetisatie is nodig om het registreren van zwakke signalen mogelijk te maken en vervorming van sterkere signalen te vermijden.

TEST UZELF



Een AM-ontvanger waarvan hierboven het blokschema is getekend, is afgestemd op een zender met een draaggolffrequentie van 1 MHz. De draaggolf van deze zender is AM-gemoduleerd met een signaal van 400 Hz.
De middenfrequentie van de ontvanger is 480 kHz.

Geef hieronder met een kruis (x) aan of de signalen op de plaatsen A t/m H gemoduleerd of ongemoduleerd zijn.
Vul tevens in hoe hoog de frequenties van de diverse spanningen zijn.

Plaatsen	Eigenschappen van de spanningen				
	Gemoduleerd	Frequentie draaggolf	Frequentie modulatie	On-gemoduleerd	Frequentie
A					
B					
C					
D					
E					
F					
G					
H					

C 37

H E R H A L I N G I I

D E M E T I N G E N V A N V O O R G A A N D E L E S S E N

INLEIDING

In de herhalingslessen C13 en C25 zijn de volgende metingen behandeld:

a. Stroom- en spanningsmetingen:
- gemiddelde waarden,
- top-waarden,
- effectieve waarden van sinusvormige signalen,
- frequenties,
- periodetijden.

b. Metingen van de ingangsweerstand van een schakeling.

c. Metingen van de uitgangsweerstand van een schakeling.

d. Metingen van overdrachtseigenschappen:
- versterking,
- verzwakking,
- amplitude-frequentie-karakteristiek; bandbreedte,
- faseverschuiving,
- vervorming.

Verder zijn er een aantal onderwerpen aan de orde geweest.
- De meetopstelling.
- Enkele regels bij het meten.
- Triggeren in de oscillografie.
- Het ijken, het instellen en het aflezen van meetinstrumenten.

Aan deze lijst ontbreken nog enige metingen die voor de elektronica-monteur bij zijn dagelijkse werk van belang kunnen zijn.
Deze zijn:

1. Weerstandsmetingen.
2. Capaciteitsmetingen.
3. Zelfinductiemetingen.
4. Tijdintervalmetingen.

Deze metingen worden in deze les alsnog behandeld.

HOE WE DEZE LES INRICHTEN

We beginnen met het onderwerp: Meetfouten ten gevolge van de inwendige weerstand van ampère- en voltmeters.
Vervolgens worden bovengenoemde metingen 1 t/m 4 behandeld.
Tenslotte krijgt u enige meetopdrachten waarbij het geleerde kan worden toegepast. Als u daarbij moeilijkheden ondervindt, raadpleeg dan de docent.
In de volgende les dient u in staat te zijn, zónder hulp van docent of collega, een metingentest uit te voeren.

MEETFOUTEN TENGEVOLGE VAN DE INWENDIGE WEERSTAND VAN AMPERE-METERS

Bij het meten van elektrische stromen maakt men gebruik van *stroommeters*, ook wel *ampère-meters* genoemd. Om stromen te meten moet men de leiding waar de stroom doorheen gaat onderbreken en de stroommeter in de open plaats aanbrengen.
In onderstaande figuren wordt de stroom door een lampje H gemeten.

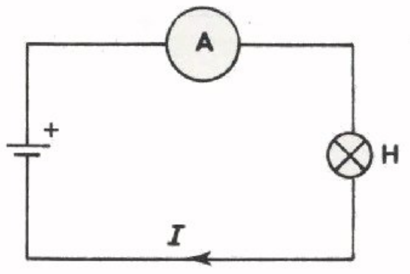


Fig. a

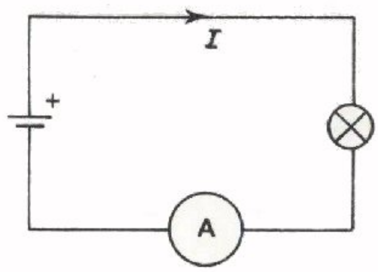


Fig. b

Bij het meten van *gelijkstroom* dient men erop te letten dat de "+" van de meter wordt aangesloten op het punt waar de stroom naar *toe* vloeit.
De stroom van een batterij vloeit van de + pool via de belasting naar de - pool van de batterij.
Bij het meten van *wisselstroom* mag men de klemmen van de meter willekeurig met de twee punten van de schakeling verbinden.

OEFENING

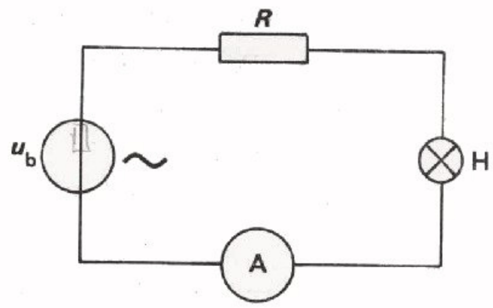
Geef in de figuren a en b met een kruisje aan waar de "+"-klem van de meter dient te zijn vastgemaakt.

Op het moment dat de stroommeter wordt aangesloten neemt de stroom door het lampje *af*. Dit komt omdat de inwendige weerstand van de stroommeter in *serie* met het lampje wordt geschakeld. De stroom die door de meter wordt aangegeven is dus *lager* dan de stroom die men wenst te meten. Deze meetfout is te verwaarlozen als de inwendige weerstand van de ampère-meter zeer *klein* is t.o.v. de weerstand van het lampje.

De algemene regel is:
Kies bij stroommetingen een ampère-meter waarvan de inwendige weerstand zeer klein is t.o.v. de *totale* weerstand tussen de meetpunten.

OEFENING

Om meetfouten te voorkomen moet de R_i van de A-meter zeer klein zijn t.o.v.:

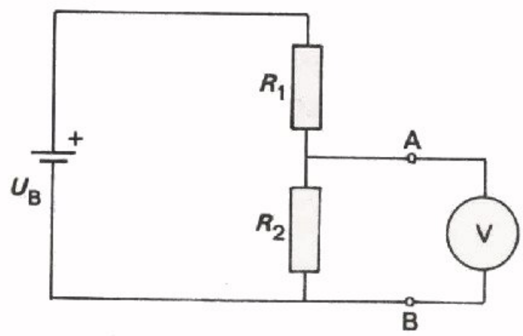


- O R
- O R + (R van H)
- O R van H
- O R + (R van H) + (R_u van de bron u_b)

MEETFOUTEN TENGEVOLGE VAN DE INWENDIGE WEERSTAND VAN VOLTMETERS

Bij het meten van elektrische spanningen maakt men gebruik van *spanningsmeters*; ook wel *volt-meters* genoemd. Bij spanningsmetingen gaat het om het bepalen van het *verschil* in spanning tussen twee punten in een elektrisch circuit. Een spanningsmeter wordt dan ook verbonden met die punten waartussen het te meten spannings*verschil* staat.

In nevenstaande figuur wordt de spanning over de onderste weerstand van een spanningsdeler gemeten. Bij het meten van *gelijkspanning* dient men erop te letten dat de "+" van de meter wordt verbonden met het punt waarop de *hoogste* spanning staat.



OEFENING

In bovenstaande figuur wordt de "+" van de meter aangesloten op punt

A / B

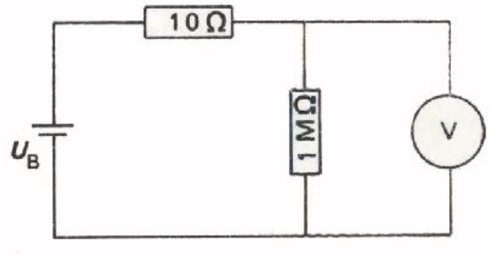
Op het moment dat de spanningsmeter wordt aangesloten *daalt* de spanning over R_2. Dit komt omdat de inwendige weerstand van de spanningsmeter *parallel* aan R_2 wordt geschakeld. De spanning die door de meter wordt aangegeven is dus *lager* dan de spanning die men wenst te meten.
De grootte van de aldus gemaakte meetfout hangt niet alleen af van de waarde van R_2; R_1 speelt ook een rol. Dit kan men als volgt inzien:

Als bijv. $R_1 = 0\ \Omega$, dan staat de V-meter *direct* over de batterij. Als we even aannemen dat de batterij "ideaal" is ($R_i = 0\ \Omega$), dan zal de meteruitslag overeenkomen met de batterijspanning U_B, *onafhankelijk* van de waarde van R_2.
De meetfout bij bovenstaande spanningsmeting is te verwaarlozen als de inwendige weerstand van de voltmeter zeer *groot* is t.o.v. de *parallelschakeling* van R_1 en R_2. In de meetschakeling staat de V-meter eigenlijk over R_1 R_2. Dit is duidelijk te "zien" als men in bovenstaand schema vanaf de aansluitingen van de V-meter terug in de schakeling kijkt.

De algemene regel is:
Kies bij spanningsmetingen een volt-meter waarvan de inwendige weerstand zeer groot is t.o.v. de *totale* weerstand tussen de meetpunten.

OEFENING

Om meetfouten te voorkomen moet de R_i van de V-meter zeer groot zijn t.o.v.:



○ 10 Ω
○ 1 MΩ
● 10 Ω parallel aan 1 MΩ
○ 10 Ω in serie met 1 MΩ

HET METEN VAN WEERSTAND

Voor het meten van de waarden van weerstanden hebben we de volgende mogelijkheden ter beschikking.

A. Het gebruik van een *direct-aanwijzende ohmmeter*.

Bijna elke universeelmeter is uitgerust met een Ohm-meter. De te meten waarde kan men direct op een Ohm-schaal aflezen.

Bij het gebruik van een dergelijke meter dient men op de volgende zaken te letten.

a. Het instellen van het "0"-punt.
De punten waartussen de te meten weerstand moet worden aangesloten worden vóór de meting even met elkaar verbonden. Hierbij wordt d.m.v. een knop de meteruitslag op "0" Ω ingesteld. Als deze uitslag niet wordt gehaald, moet de batterij in het apparaat worden uitgewisseld. Bij omschakeling op een ander meetbereik moet de nulinstelling herhaald worden.

b. Het kiezen van het juiste meetbereik.
Het schaalkarakter van een Ω-meter is meestal niet-lineair.
De ene kant van de schaal is "samengedrongen" (weinig schaallengte per kΩ); de andere kant van de schaal is "uitgerekt".
(Bekijk het schaalkarakter van uw Ω-meter). Het dient aanbeveling een meetbereik te kiezen waarbij de wijzeruitslag in het uitgerekte deel van de schaal plaats heeft.

c. Tussen de aansluitklemmen van een Ω-meter staat meestal een *gelijkspanning*. Deze spanning is afkomstig van één of meer batterijen die in het apparaat voor de werking van de Ω-meter zorgen.
Soms is het van belang de *waarde* en de *polariteit* van deze spanning te kennen. Het volgende voorbeeld zal dit verduidelijken:
Bij het meten van de *doorlaat*weerstand van een diode dient men de aansluitklem waarop positieve spanning staat, te verbinden met de anode van de diode. De stroom die dan door de diode vloeit mag niet zo groot zijn dat hierdoor de diode defect raakt.
Bij het meten van de sperweerstand van een diode wordt de aansluitklem met negatieve spanning verbonden met de anode van de diode. Deze spanning mag niet zo groot zijn dat nu de diode doorslaat.

OPDRACHT I

- Ga na hoe groot de spanning op de aansluitklemmen is in de diverse Ω-bereiken. Stel vooraf het nulpunt in.

In de stand x1 Ω	U = V
In de stand x100 Ω	U = V
In de stand x10 kΩ	U = V

- Ga na welke aansluitklem van de Ω-meter positief is.

VERVOLG: HET METEN VAN WEERSTAND

B. Het toepassen van de *stroom-spannings-methode*.

Volgens de wet van Ohm is: $R = \frac{U_R}{I_R}$. De waarde van R kan men dus bepalen door zowel de spanning over- als de stroom door R te meten. De meetresultaten worden daarna op elkaar gedeeld.

Schakelingen voor het meten van een weerstand R_x.

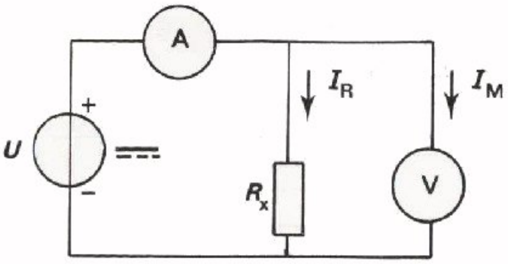


Fig. a

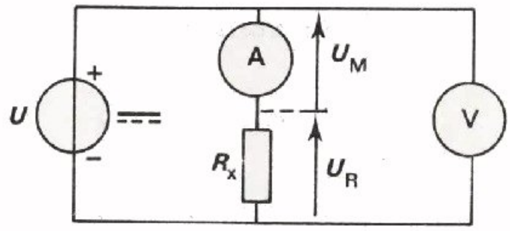


Fig. b

In de schakeling van fig. a is de uitslag van de ampère-meter te hoog, omdat niet alleen I_R maar tevens I_M wordt gemeten. Men berekent dan een te lage waarde van R_x.

Resultaat: $R_x = \dfrac{U_R}{I_R + I_M}$

Deze fout is te verwaarlozen als R_x zeer klein is t.o.v. de inwendige weerstand van de voltmeter.
De meetschakeling volgens fig. a is dus goed bruikbaar voor het meten van *lage* R_x-waarden (vanaf 1 Ω tot ca. 10 kΩ).

In fig. b is de uitslag van de voltmeter te hoog, omdat niet alleen U_R maar tevens U_M wordt gemeten. Men meet dan een te hoge waarde van R_x.

Resultaat: $R_x = \dfrac{U_R + U_M}{I_R}$

Deze fout is te verwaarlozen als R_x zeer groot is t.o.v. de inwendige weerstand van de ampère-meter.
De meetschakeling volgens fig. b is dus bijzonder geschikt voor het meten van *hoge* R_x-waarden (vanaf ca. 10 kΩ).

Men kan op een snelle wijze er achter komen of bij een bepaalde waarde van de schakeling volgens fig. a acceptabel is. Men maakt de V-meter even aan één kant los. Als de uitslag van de ampère-meter hierdoor niet noemenswaardig kleiner wordt, is de schakeling goed bruikbaar.

Evenzo kan men op eenvoudige wijze nagaan of bij een bepaalde waarde van de schakeling volgens fig. b bruikbaar is. Men sluit de A-meter tijdelijk kort. Als de uitslag van de voltmeter nu niet noemenswaardig kleiner is dan in de oorspronkelijke situatie, is de schakeling in orde.

HET METEN VAN CAPACITEIT

De meest voor de hand liggende methode om de capaciteit van condensators te meten is de *stroom-spannings-methode*.

We weten dat voor een condensator geldt: $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{u_c}{i_c}$

De reactantie X_C van een condensator kan men dus bepalen door zowel de spanning over- als de stroom door die condensator te meten, en deze meetresultaten op elkaar te delen.
Als de reactantie bekend is, is het niet moeilijk hieruit de capaciteit van de condensator te berekenen.

$X_C = \frac{1}{\omega C}$; hieruit volgt: $C = \frac{1}{\omega X_C} = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{6,28 f X_C}$

Hierin is f de frequentie van de sinusvormige spanning u_c en van de stroom i_c.

Schakelingen voor het meten van een capaciteit C_x.

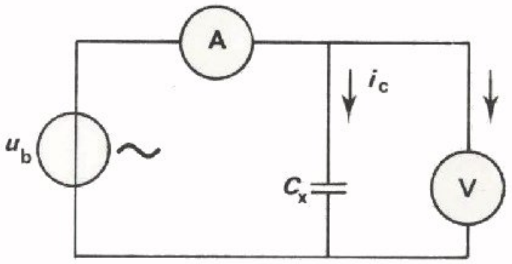


Fig. a

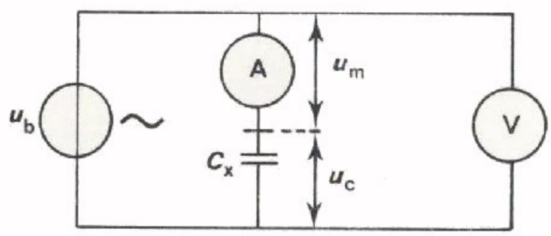


Fig. b

In de schakeling van fig. a is de uitslag van de A-meter te hoog omdat niet alleen i_c maar ook i_m wordt gemeten. Deze fout is te verwaarlozen als $\frac{1}{\omega C}$ zeer klein is t.o.v. de inwendige weerstand van de voltmeter.

Deze schakeling is dus goed bruikbaar voor het meten van *hoge* C_x-waarden (vanaf ca. 100 nF).

In de schakeling volgens fig. b is de uitslag van de V-meter te hoog, omdat niet alleen u_c maar ook u_m wordt gemeten. Deze fout is bijzonder gering als $\frac{1}{\omega C_x}$ zeer groot is t.o.v. de inwendige weerstand van de ampère-meter.

Schakeling b dient men dus te gebruiken bij *lage* C_x-waarden (vanaf ca. 100 pF tot ca. 100 nF).

De frequentie van de sinussspanning u_b kiest men *laag* (bijv. 50 Hz) bij het meten van hoge C_x-waarden.
De frequentie van u_b maakt men *hoog* (bijv. 1 kHz) bij het meten van lage C_x-waarden.

OEFENING

De wisselspanning over een condensator blijkt na meting 10 V te zijn.
De wisselstroom door de condensator is 1 mA. De frequentie van de toegepaste sinusspanning is 1 kHz.
Hoe groot is de capaciteit van de condensator?

$C \approx$ [ ]

HET METEN VAN ZELFINDUCTIE

Ook bij het meten van de zelfinductie van spoelen kan men gebruik maken van de *stroom-spanningsmethode*.

Voor een spoel geldt: $X_L = \omega L = \frac{u_1}{i_1}$.

De reactantie X_L van een spoel kan men bepalen door én de spanning over de spoel, én de stroom door de spoel te meten. Vervolgens worden deze meetresultaten op elkaar gedeeld.
Als op deze wijze de reactantie is vastgesteld, is het eenvoudig hieruit de zelfinductie van de spoel te berekenen.

$X_L = \omega L$; hieruit volgt: $L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{X_L}{6,28f}$

Hierbij is f de frequentie van de sinusvormige spanning u_1 en van de sinusvormige stroom i_1.

Schakeling voor het meten van een zelfinductie L_x.

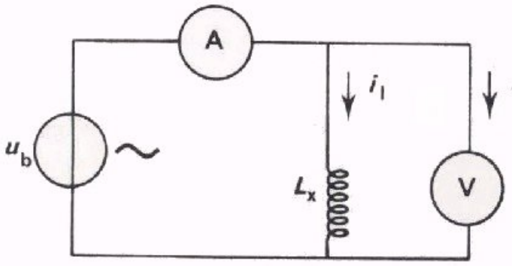


Fig. a

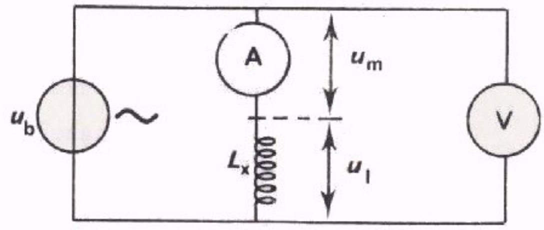


Fig. b

In de schakeling van fig. a is de uitslag van de A-meter te hoog. Deze meter meet immers niet alleen de stroom door de spoel i_1 maar ook de stroom door de voltmeter i_m. De meetfout die hierdoor ontstaat is uiterst gering als ωL_x zeer klein is t.o.v. de inwendige weerstand van de V-meter. Deze schakeling gebruikt men dan ook bij het meten van *lage* L_x-waarden (vanaf ca. 100 µH tot ca. 100 mH).

In de schakeling volgens fig. b is de uitslag van de V-meter te hoog. Deze meet niet alleen u_1 maar ook u_m. De meetfout die hierdoor wordt gemaakt kan men verwaarlozen als ωL_x zeer groot is t.o.v. de inwendige weerstand van de A-meter. Deze schakeling leent zich daarom goed voor het meten van *hoge* L_x-waarden (vanaf ca. 100 mH).

De frequentie van de bronspanning u_b kiest men *laag* (bijv. 50 Hz) bij het meten van hoge L_x-waarden. De frequentie van u_b maakt men *hoog* (bijv. 1 kHz) bij het meten van lage L_x-waarden.

OEFENING

Bij het meten van een zelfinductie komt men tot de volgende meetresultaten: $U_{1(eff)}$ = 1 V; $U_{1(eff)}$ = 10 mA. De frequentie van u_1 en i_1 is 50 Hz.

Hoe groot is de zelfinductie?

$L \approx$ [ ]

HET METEN VAN TIJDINTERVALLEN

Met tijdintervallen bedoelen we hier tijd*verschillen*.

Voorbeelden van tijdintervallen:

a. Het tijdverschil tussen de voorflank en de achterflank van een impulsvormige spanning.
b. Het tijdverschil tussen het ingangssignaal en het uitgangssignaal van een vertragingsschakeling.

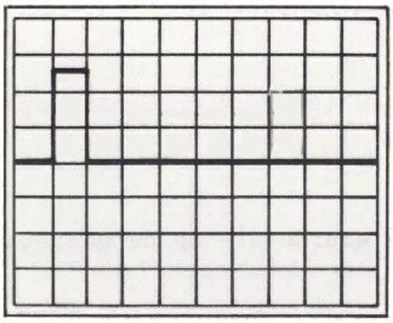
De oscilloscoop is bij uitstek geschikt om tijdintervallen te meten.

Als men tijdintervallen wil meten aan *één en hetzelfde* signaal (voorbeeld a), dan kan men op de normale wijze een enkelstraaloscilloscoop gebruiken. Men maakt het signaal zichtbaar. Men meet vervolgens de *horizontale* afstand tussen de twee punten waarvan het tijdverschil moet worden bepaald. Het aantal lengte-eenheden kan aan de hand van de tijdijking van de oscilloscoop worden omgerekend in seconden (ms of μs).

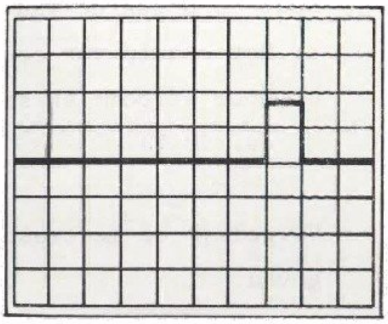
Voor het meten van tijdverschillen tussen *twee verschillende* signalen (voorbeeld b) is de *dubbelstraaloscilloscoop* het aangegeven instrument. Men maakt beide signalen zichtbaar en men verschuift de oscillogrammen naar het midden van de beeldbuis. Men bepaalt daarna de horizontale afstand tussen de twee punten waarvan het tijdverschil moet worden gemeten. Deze afstand wordt omgerekend in tijd.

Men kan ook een *enkelstraaloscilloscoop* gebruiken om tijdintervallen tussen verschillende signalen te meten.
Men gaat dan als volgt te werk:
De tijdbasis wordt *extern* getriggerd m.b.v. één van de signalen.
Alleen dit signaal bepaalt nu de momenten waarop de tijdbasis start.
Daarna maakt men *achtereenvolgens* de desbetreffende signalen zichtbaar.
De oscillogrammen worden genoteerd.

oscillogram 1
(impuls 1)



oscillogram 2
(impuls 2)



Aan de hand van de tijdijking van de oscilloscoop kan men nu de tijdintervallen tussen de twee spanningen bepalen.

OEFENING

Veronderstel dat bij het opnemen van bovenstaande oscillogrammen de knop time/div. op 2 ms/div. is ingesteld.

Hoe groot is dan het tijdverschil tussen de voorflank van impuls 1 en de achterflank van impuls 2?

t = [ms]

OPDRACHT 2: HET METEN VAN WEERSTANDSWAARDEN

- Meet de *R*-waarde van een gegeven koolweerstand:
  a. Met behulp van een Ohm-meter.
  b. Door stroom- en spanningsmetingen (gebruik een gelijkspanning van ca. 10 V).

- Vergelijk de meetresultaten met de waarde die op de weerstand is aangegeven.

R (gemeten met Ω-meter): [Ω]

R (volgens de stroom-spanningsmethode): [Ω]

R (volgens kleurencode): [± %]

Als de gemeten waarden aanzienlijk afwijken van de aangegeven waarde ± de tolerantie van de weerstand, vraag dan de hulp van uw leraar.

Schets hieronder de meetschakeling die u bij de stroom-spanningsmethode hebt toegepast.

<u>Meetschakeling:</u>

De uitslag van de V-meter is	V
De uitslag van de A-meter is	mA
De inwendige weerstand van de V-meter is	kΩ
De inwendige weerstand van de A-meter is	Ω

Opmerking: De inwendige weerstand van de gebruikte meetinstrumenten dient men op te zoeken in de bijbehorende specificaties.

OPDRACHT 3: HET METEN VAN CAPACITEITSWAARDEN

- Meet de capaciteit van een gegeven condensator.

  Pas de stroom-spanningsmethode toe.
  Gebruik een sinusspanning met een effectieve waarde van ca. 10 V, frequentie ca. 1 kHz. Neem deze spanning af van de 600 Ω-uitgang van de generator.

- Vergelijk de meetresultaten met de op de condensator vermelde waarde. (Vraag de hulp van uw leraar als het meetresultaat belangrijk afwijkt van de opgegeven capaciteitswaarde).

C (gemeten waarde): nF

C (volgens opgave): nF ± %

- Schets hieronder de meetschakeling die u hebt toegepast.

Meetschakeling:

De uitslag van de V-meter is V

De uitslag van de A-meter is mA

De inwendige weerstand van de V-meter is Ω

De inwendige weerstand van de A-meter is Ω

Opmerking: De gevraagde eigenschappen van de toegepaste meetapparaten vindt men in de bijbehorende specificaties.

OPDRACHT 4: HET METEN VAN ZELFINDUCTIEWAARDEN

- Meet de zelfinductie van een gegeven spoel.

  Pas de stroom-spanningsmethode toe.
  Gebruik een sinusspanning met een effectieve waarde van ca. 10 V; frequentie ca. 1 kHz. Neem deze spanning af van de 600 Ω-uitgang van de generator.

- Vergelijk de meetresultaten met de op de spoel vermelde waarde.
  (Als het meetresultaat belangrijk afwijkt van de opgegeven zelfinductiewaarde, dan hebt u foutief gemeten. Roep zonodig de hulp in van uw leraar).

  L (gemeten waarde): [mH]

  L (volgens opgave): [mH]

- Schets hieronder de meetschakeling.

  <u>Meetschakeling:</u>

De uitslag van de V-meter is [V]

De uitslag van de A-meter is [mA]

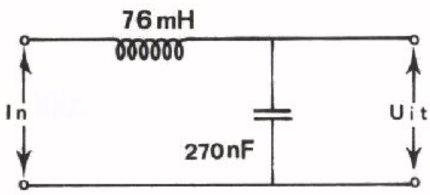
De inwendige weerstand van de V-meter is [Ω]

De inwendige weerstand van de A-meter is [Ω]

Opmerking: Zoek de gevraagde eigenschappen van de V- en de A-meter op in de specificaties van deze apparaten.

OPDRACHT 5: HET METEN VAN TIJDINTERVALLEN TUSSEN SINUSVORMIGE SPANNINGEN

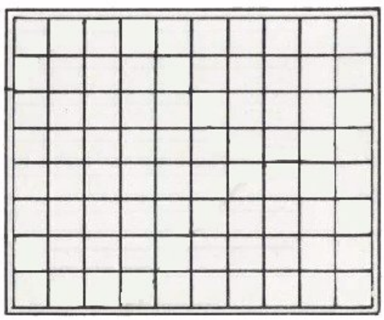
- Monteer de volgende vertragingsschakeling op uw paneel.



- Voer aan de ingang een sinusvormige spanning toe met een frequentie van 10 kHz.

- Meet m.b.v. een *enkelstraal*oscilloscoop de vertragingstijd tussen ingangsspanning en uitgangsspanning.

t_d = [ms]



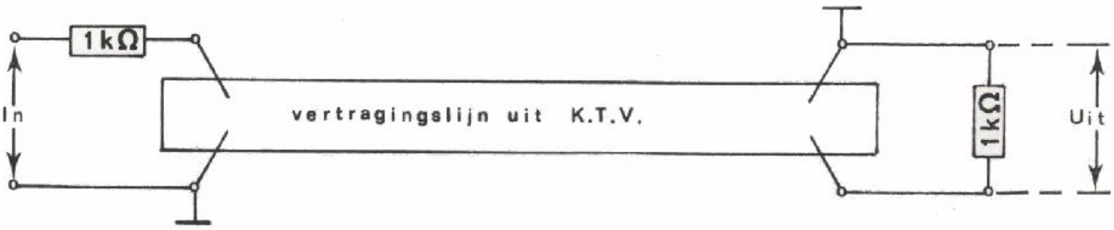
Teken hiernaast de twee oscillogrammen die u achtereenvolgens waarneemt.

In welke stand staat de time/div.-knop?

[ ]

OPDRACHT 6: HET METEN VAN TIJDINTERVALLEN TUSSEN IMPULSVORMIGE SPANNINGEN

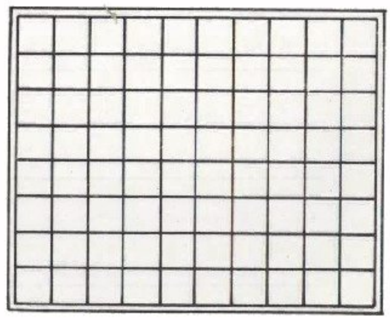
- Plaats een gegeven vertragingslijn op uw paneel.



- Voer aan de ingang een kanteelvormige spanning toe met een frequentie van 100 kHz.

- Meet m.b.v. een *enkelstraal*oscilloscoop de vertragingstijd tussen ingangsspanning en uitgangsspanning.

t_d = [µs]



Teken hiernaast de twee oscillogrammen die u achtereenvolgens waarneemt.

In welke stand staat de time/div.-knop?

[   ]